WIADOMOŚCI TECHNICZNO-ARTYLERYJSKIE

№ 4.

STYCZEŃ — 1930

DODATEK BEZPŁATNY DO Nr. 1 TOMU X
PRZEGLĄDU ARTYLERYJSKIEGO (STYCZEŃ 1930)

Konto czekowe w Pocztowej Kasie Oszczędności Nr. 5454.

WARSZAWA

ADRES REDAKCJI I ADMINISTRACJI:
Warszawa, Nowowiejska 1, pokój 406. Telefon 23-94.

WIADOMOŚCI TECHNICZNO-ARTYLERYJSKIE

Nr. 4.

STYCZEŃ — 1930 R.

TREŚĆ:

SOMMAIRE:

UWAGA: Liczby, umieszczone nad tytułami poszczególnych artykułów w tekście, oznaczają symbole klasyfikacji dziesiętnej.

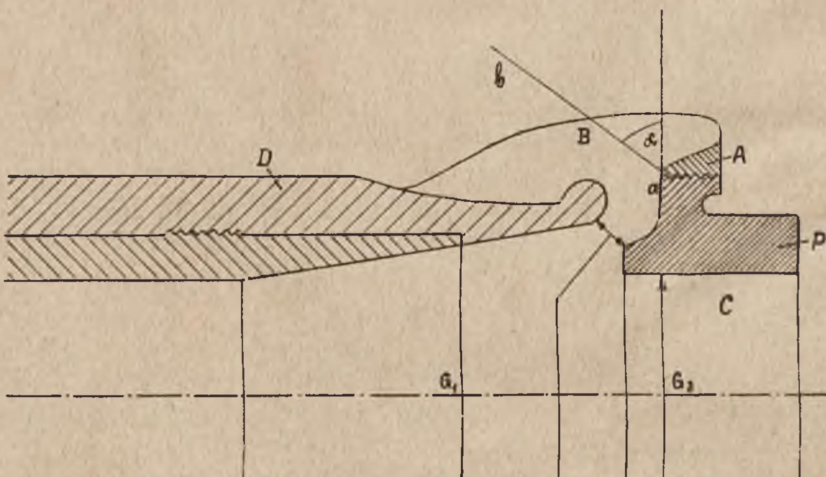
623.435.66

Płk. inż. NIEWIADOMSKI PAWEŁ.

TEORETYCZNE ROZWAŻANIA NAD BUDOWĄ HAMULCA WYLOTOWEGO[1].

Hamulcem wylotowym[2]) nazywa się przyrząd (w rodzaju turbiny), który będąc umieszczony u wylotu lufy, pochłania część energji odrzutu lufy, dzięki czemu zmniejsza się siła odrzutu, a zatem nacisk na łoże.

Hamulec wylotowy (rys. 1) składa się z dyszy D, przytwierdzonej do wylotu lufy i pokrywy P; pokrywa jest połączona z dyszą pierścieniami A, posiadającemi ramiona B.



Rys. 1.

[1]) Na podstawie artykułu Dipl. Inż. Ladislaus Kazinczy, umieszczonego w „Müszaki Szemle" r. 1927. Nr. 10 i 11. Budapeszt.

[2]) „Hamulec wylotowy" Przegl. Art. Nr. 10, r. 1927; ppłk. Vorbrodt „Wiadomości techniczne" Przegl. Art. Nr. 4. r. 1926.

W chwili, gdy podczas strzału dno pocisku opuszcza lufę i wchodzi do dyszy, część gazów podąża za pociskiem do otworu centralnego C, — część zaś wypływa nazewnątrz przez boczne przewody znajdujące się między dyszą D, a pokrywą P i, uderzając w pokrywę, nadaje lufie pewną skierowaną ku przodowi — szybkość, która zmniejsza wobec tego nabytą uprzednio już szybkość odrzutu.

Przyrząd ten w sprzęcie artyleryjskim może być wyzyskany w sposób dwojaki:

1) Przy zachowaniu w dziale jednakowych warunków strzału, hamulec wylotowy zmniejszy nacisk na łoże, zmniejszy długość odrzutu, polepszy jego stateczność i pozwoli na pewne zmniejszenie ciężaru sprzętu.

2) Przy zachowaniu tego samego obciążenia łoża co i bez zastosowania hamulca wylotowego, pozwoli on na dość duże zwiększenie mocy działa.

Oznaczamy przez:

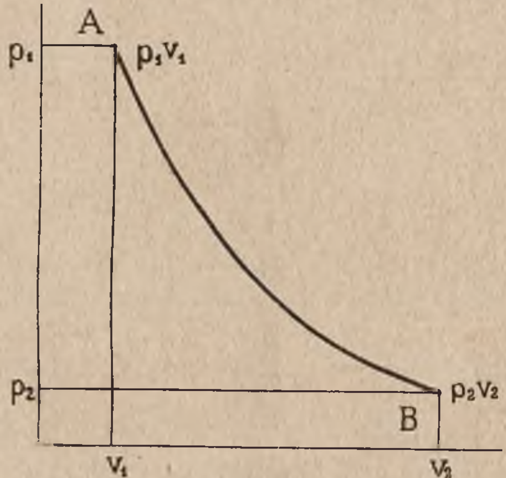
V — objętość przewodu lufy w m^3

p — prężność gazów prochowych w kg/m^2

v — objętość 1 kg gazów prochowych, czyli objętość właściwą

L — ciężar ładunku prochu w kg.

$$k = \frac{C_p}{C_v} = \frac{\text{Ciepło właściwe przy stałej prężności.}}{\text{Ciepło właściwe przy stałej objętości.}}$$



Rys. 2.

W chwili, gdy dno pocisku opuszcza wylot lufy, niezaopatrzony w hamulec wylotowy gazy prochowe określone stanem p_1 i v_1 prze-

chodzą nazewnątrz lufy (w powietrze), rozprężając się do stanu p_2 i v_2.

Przyjmujemy, że w tak krótkiej chwili, w jakiej następuje zjawisło strzału, przejście gazów prochowych ze stanu p_1 i v_1 do stanu p_2 i v_2 następuje bez wymiany ciepła, bez strat na tarcie i bez wirów, a więc, że występuje tu przemiana adjabatyczna gazów (rys. 2) czyli

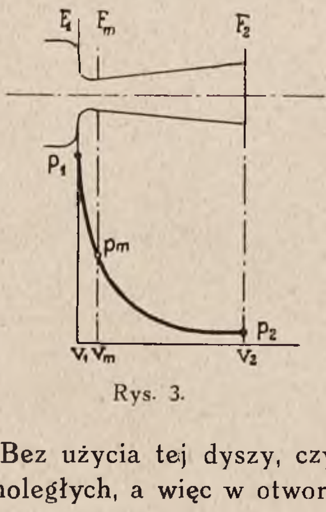
$$p_1 v_1^k = p_2 v_2^k$$

Szybkość wypływu gazów przy tym spadku prężności z p_1 do p_2 jest

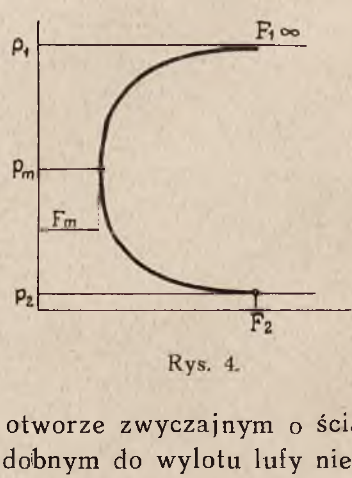
$$c_2 = \sqrt{2g \frac{k}{k-1} p_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]}$$

Chcąc zamienić tę energję prężności gazów na energję kinetyczną, a zarazem rozwinąć maksymalną szybkość wypływu c_2 możliwą dla danego spadku prężności, należy tu, jak wiadomo z termodynamiki, zastosować rozszerzony otwór wypływu, zwany dyszą de Laval'a.

Oznaczając przez F_1, przekrój wylotu lufy, musimy wówczas dobrać przekrój przepływowy w dyszy F_m (przekrój minimalny $F_m < F_1$) tak, aby następnie rozszerzając go, przejść do końcowego przekroju F_2 (rys. 3 i 4).



Rys. 3.



Rys. 4.

Bez użycia tej dyszy, czyli w otworze zwyczajnym o ściankach równoległych, a więc w otworze podobnym do wylotu lufy nie osiągnęlibyśmy żądanej szybkości c_2, odpowiedniej do spadku prężności $p_1 - p_2$ lecz otrzymalibyśmy tylko szybkość $c_m < c_2$, odpowiednią do spadku prężności $|p_1 - p_m| < |p_1 - p_2|$.

Wyobraźmy sobie otwór w dyszy o przekroju F i prężności gazów w nim P, szybkość wypływu gazów w nim jest

$$c = \sqrt{2g\frac{k}{k-1}p_1 v_1\left[1-\left(\frac{p}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]}$$

Oznaczając przez v — objętość właściwą gazów w tym przekroju, oraz biorąc pod uwagę równanie ciągłości strumienia

$$F = \frac{G_{sek}\,.\,v}{c} \quad \text{i że} \quad v = \left(\frac{p_1}{p}\right)^{\frac{1}{k}} v_1$$

mamy

$$F = \frac{G_{sek}}{\sqrt{2g\frac{k}{k-1}\cdot\frac{p_1}{v_1}\left[\left(\frac{p}{p_1}\right)^{2/k}-\left(\frac{p}{p_1}\right)^{\frac{k+1}{k}}\right]}}$$

Minimalny przekrój dyszy otrzymamy przy

$$\frac{p_m}{p_1} = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}$$

w postaci

$$F_{min} = F_m = \frac{G_{sek}}{\sqrt{2g\frac{k}{k+1}\cdot\frac{p_1}{v_1}\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}}}$$

Szybkość przepływu gazów w nim jest

$$c_m = \sqrt{2g\frac{k}{k+1}p_1 v_1}$$

jest *to szybkość dźwięku dla stanu* p_m i v_m; F_{m1} c_m i p_m są tak zwane wartości krytyczne.

O ile gaz, dochodząc do danego przekroju, posiada pewną szybkość dopływu c_0, to musimy wziąć ją pod uwagę, a wówczas szybkość wypływu otrzymamy w postaci

$$c' = \sqrt{c_0^2 + 2g\frac{k}{k-1}p_1 v_1\left[1-\left(\frac{p}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]}$$

Jeżeli gazy przechodzą od stanu p_1, v_1 do stanu p_2, v_2 przez dyszę Laval'a, to biorąc pod uwagę równanie ciągłości strugi

$$F' = \frac{G'_{sek}\,v'}{c'} \quad \text{i} \quad v' = \left(\frac{p_1}{p'}\right)^{1/k}.\,v_1$$

mamy

$$F' = \frac{G'_{\text{sek}}}{\sqrt{c_o^2\left(\frac{p'}{p_1}\right)^{2/k}\cdot\frac{1}{v_1^2}+2g\frac{k}{k-1}\frac{p_1}{v_1}\left[\left(\frac{p'}{p_1}\right)^{2/k}-\left(\frac{p'}{p_1}\right)^{\frac{k+1}{k}}\right]}}$$

Minimalny przekrój dyszy otrzymamy przy

$$\frac{p'_m}{p_1}=\left[\frac{k-1}{k(k+1)}\cdot\frac{c_o^2}{2g}\cdot\frac{2}{p_1 v_1}+\frac{2}{k+1}\right]^{\frac{k}{k-1}}$$

Skąd oznaczając

$$\frac{p'_m}{p_1}=K^{\frac{k}{k-1}}$$

szybkość przepływu w najwęższym przekroju dyszy będzie

$$c'_m=\sqrt{c_o^2+2.g.\frac{k}{k-1}p_1 v_1 (1-K)}$$

a minimalny jej przekrój

$$F'_m=\frac{G'_{\text{sek}}}{\sqrt{c_o^2 K^{\frac{2}{k-1}}\frac{1}{v_1^2}+2g\frac{k}{k-1}\frac{p_1}{v_1}\left[K^{\frac{2}{k-1}}-K^{\frac{k+1}{k-1}}\right]}}$$

Badania P. p. Levickiego i Zerkowitz'a w Niemczech (S. W. Schüle „Technische Thermodynamik") nad wypływem gazów prochowych przez otwór zwyczajny o ściankach równoległych wykazały, że gazy prochowe, opuszczając ten otwór, osiągają szybkość wypływu znacznie przewyższającą szybkość krytyczną (rys. 5).

Oznaczmy przez p_m prężność gazów w otworze zwyczajnym o ściankach równoległych, a przez p_2 prężność gazów przed ujściem ich w powietrze i obliczmy szybkość strumienia poza otworem wypływu gazów. Mamy

$$p_2 < p_m$$

Ciężar c_1 gazów, wypływających na sekundę przez otwór f_m jest

$$G_{\text{sek}}=f_m\sqrt{2.g\frac{k}{k+1}\frac{p_1}{v_1}\frac{2}{k+1}^{\frac{k}{k-1}}}$$

i szybkość przepływu gazów przez ten otwór

$$c_m=\sqrt{2.g.\frac{k}{k+1}p_1 v_1}$$

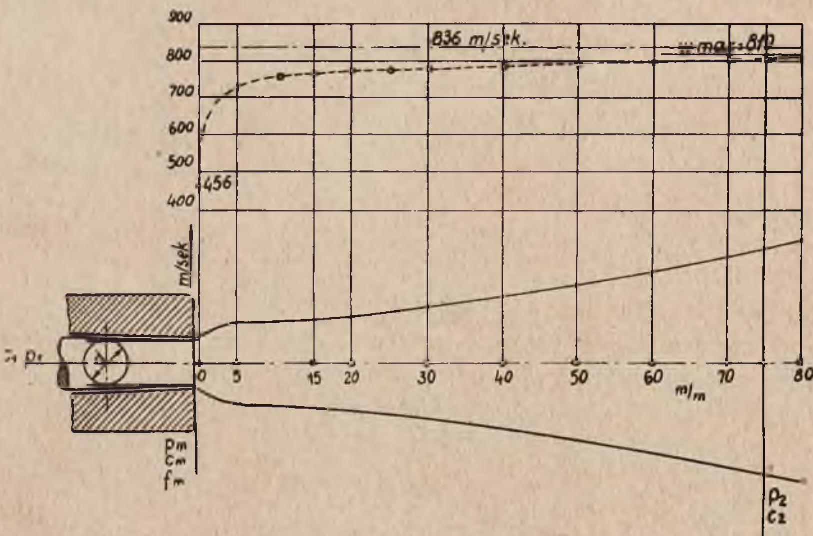
Oznaczając zatem szybkość strumienia poza otworem f_m w miejscu, gdzie gazy jeszcze się nie dorównały prężności powietrza, przez c_2 mamy,

$$f_m (p_m - p_2) = \frac{G_{sek}}{g} (c_2 - c_m)$$

skąd

$$c_2 = c_m + \frac{f_m (p_m - p_2) \cdot g \cdot}{G_{sek}}$$

Stosując te wzory dla określenia szybkości strumienia gazów prochowych, będziemy oznaczali przekrój wylotu lufy przez $f = f_m$.



Rys. 5.

Szybkość wypływu gazów przez wylot lufy według wyżej podanych wzorów wynosi

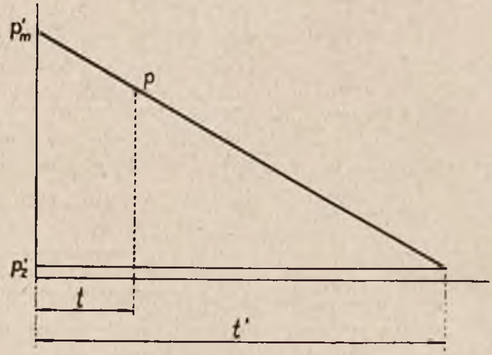
$$c'_m = \sqrt{c_0^2 + 2 \cdot g \frac{k}{k-1} p_1 v_1 (1 - K)}$$

a prężność gazów w tem miejscu

$$p'_m = p_1 K^{\frac{k}{k-1}}$$

Dla uproszczenia przyjmiemy, że czas wypływu gazów prochowych równa się czasowi „dodatkowego" działania gazów na lufę, aż do chwili całkowitego zaprzestania tego działania („Nachwirkung"

według prof. Rausenbergera), czyli całkowitego rozprężenia się gazów prochowych w powietrzu, oraz, że zgodnie z hipotezą Vallier'a prężność p'_m za czas t' tego działania gazów na lufę spada do prężności p_2 według linji prostej uwidocznionej na rys. 6.



Rys. 6.

Wówczas mamy,

$$p - p'_2 = (p'_m - p'_2)\left(1 - \frac{t}{t'}\right)$$

ale ponieważ p'_m jest znacznie większe od p'_2 to pomijając to ostatnie mamy

$$fp = fp'_m\left(1 - \frac{t}{t'}\right)$$

skąd całkując w granicach od $t=o$ do $t=t'$

$$fp'_m \int_{t=o}^{t=t'} \left(1 - \frac{t}{t'}\right) dt = \frac{L}{g} \int_{c=c'_m}^{c=c'_2} dc$$

otrzymujemy

$$fp'_m \frac{t'}{2} = \frac{L}{g}(c'_2 - c'_m)$$

skąd

$$c'_2 = \frac{f.p'_m g t'}{2L} + c'_m$$

gdzie

L — oznacza ładunek prochu w kg.

p'_m i c'_m — oznacza prężność gazów i szybkość ich strumienia w chwili, gdy dno pocisku opuszcza wylot lufy.

p'_2 i c_2' — oznacza prężność gazów i szybkość strumienia w chwili przed całkowitem rozprężeniem się ich w powietrzu.

c'_2 jest więc największą szybkością strumienia gazów przed całkowitem rozprężeniem się w powietrzu, w okresie $t=t'$, jak to przyjęliśmy poprzednio.

Całkowita siła reakcji gazów prochowych wyniesie w chwili swego maksimum

$$R_x = f(p_1 - p'_2) \approx f p_1$$

albowiem p_1 jest znacznie większe od p'_2 i to ostatnie można pominąć.

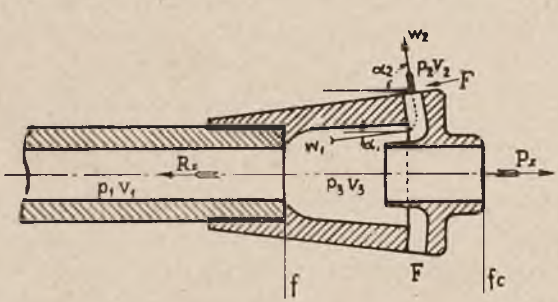
Siła R_x zgodnie z hipotezą Vallier'a spada za czas t' podług linji prostej. A więc średnia wartość tej siły

$$R_m = \frac{R_x}{2}$$

zaś czas t' według „Theorie der Rohrrücklaufgeschütze" prof. von Rausenberger'a, Berlin 1907, równa się

$$t' = 2\frac{L v_o (\beta - 1\ 2)}{g \,.\, R_x}$$

Aby wyjaśnić, jaką korzyść zyskujemy z zastosowania hamulca wylotowego w artylerji, określimy siłę hamującą P_x hamulca wylotowego, poczem rozpatrzymy odrzut bez zastosowania hamulca wylotowego i odrzut z jego zastosowaniem, skuteczność działania hamulca wylotowego, zmniejszenie długości odrzutu przy zastosowaniu hamulca wylotowego, oraz wpływ jego na stateczność działa.



Rys. 7.

Siła hamująca P_x hamulca wylotowego (rys. 7) działa w kierunku przeciwnym do kierunku siły R_x.

Dno pocisku opuszczając przekrój f osiąga przekrój f_c, w którym to okresie następuje najskuteczniejsze działanie hamulca wylotowego.

Oznaczmy czas przejścia dna pocisku od przekroju f do przekroju f_c przez t_c. Wskutek samej konstrukcji hamulca wylotowego mamy $t^c < t'$.

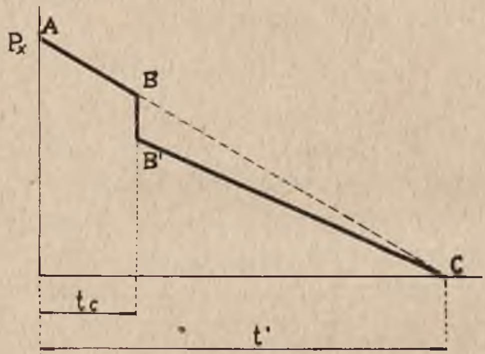
Za czas t_c gazy prochowe wypływają przez boczne przewody F, po upływie zaś czasu t_c większa pozostała część gazów przechodzi przez przekrój f_c.

Przyjmiemy, że siła P_x analogicznie do siły R_x spada według linji prostej uwidocznionej na rys. 8.

Siła ta, jak to widać z rys. 8, w końcu czasu t_c raptownie maleje.

Dla uproszczenia przyjmujemy, że prawo, według którego zmniejsza się siła P_x jest prostą ABC.

Oznaczmy (rys. 7) szybkość gazów prochowych przy wejściu do hamulca wylotowego w_1, a szybkość przy wyjściu z hamulca wylotowego przez w_2, kąty zaś, które tworzą kierunki szybkości z kierunkiem osi lufy przez α_1 i α_2



Rys. 8.

Wówczas siła działania hamulca wylotowego jest

$$P_{x1} \cdot \frac{t'}{2} = \frac{n L}{g} (w_1 \cos \alpha_1 + w_2 \cos \alpha_2)$$

gdzie n jest wielkością stałą, zależną od wykorzystania prochu.

Przy wyjściu gazów prochowych z hamulca wylotowego dochodzi jeszcze siła składowa

$$P_{x2} = F (p_3 - p_2) \cos \alpha_2$$

gdzie p_3 jest ciśnienie w hamulcu wylotowym.

Stąd całkowita siła działania hamulca wylotowego

$$P_x = P_{x_1} + P_{x_2} = \frac{2 n . L}{g t'} (w_1 \cos \alpha_1 + w_2 \cos \alpha_2) + F (p_3 - p_2) \cos \alpha_2$$

Średnia wartość tej siły

$$P_{x_m} = \frac{P_x}{2} = \frac{P_{x1} + P_{x2}}{2}$$

Wartość w_1, jest to wartość pomiędzy dwiema poprzednio obliczonemi wartościami c'_m i c'_2.

Przechodząc następnie do rozpatrzenia odrzutu bez hamulca wylotowego i odrzutu z zastosowaniem hamulca wylotowego przyjmiemy, że stała siła K_x hamująca zespół odrzutowy jako skutek działania oporopowrotnika działa dopiero z chwilą, gdy dno pocisku opuszcza wylot lufy.

Oznaczmy przez

G_r — ciężar zespołu odrzutowego,

L — ciężar ładunku

V_o — szybkość odrzutu, w chwili gdy dno pocisku opuszcza wylot lufy,

V_{max} — największą szybkość odrzutu,

l — ciężar pocisku,

v_o — początkową szybkość pocisku.

Jak wiadomo z balistyki wewnętrznej

$$V_o = \frac{v_o (l + 0{,}5\,L)}{G_r}.$$

Zaś szybkość odrzutu przy końcu działania gazów prochowych po wyjściu dna pocisku z lufy, według „Theorie der Rohrrückaufgeschütze" prof. von Rausenbergera

$$V_1 = V_o + \frac{R_x}{G_r} g \cdot \frac{t'}{2} - \frac{K_x}{G_r} \cdot g \cdot t'$$

i największa szybkość odrzutu następuje wówczas, gdy

$$K_x = R_x \left(1 - \frac{t}{t'}\right)$$

w chwili

$$t = \frac{R_x - K_x}{R_x} \cdot t'$$

wynosi ona

$$V_{max} = V_o + \frac{R_x}{G_r} \cdot g \left(t - \frac{t^2}{2t'}\right) - \frac{K_x}{G_r} \cdot g \cdot t$$

gdzie

$$t' = \frac{2 L v_o (\beta - 0,5)}{g \, . \, R_x}$$

$$\beta = 1,6 \backsim 3$$

Oznaczając przez

s_0 — drogę przebytą przez pocisk w lufie,

s_1 — długość odrzutu podczas przebiegu pocisku w lufie,

s_2 — ,, ,, ,, działania gazów prochow. po wyjściu pocisku z lufy,

s_3 — ,, ,, po zaprzestaniu działania gazów prochowych na lufę.

S — całkowita długość odrzutu.

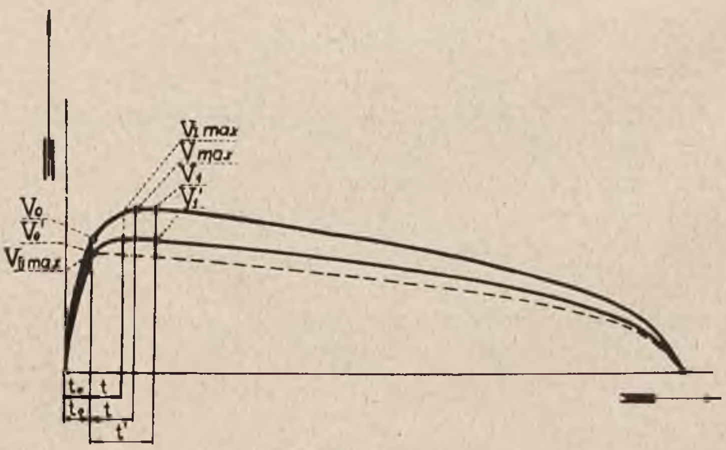
Według ,,Theorie der ,,Rohrrücklaufgeschütze" prof. van Rausenbergera mamy,

$$s_1 = \frac{s_o (I + 0,5 L)}{G_r + L + I}$$

$$s_2 = V_o t' + \frac{R_x}{G_r} \, . \, g \, . \, \frac{t'^2}{3} - \frac{K_x}{2 \, . \, G_r} \, . \, g \, . \, t'^2$$

$$s_3 = S - (s_1 + s_2)$$

Przy *zastosowaniu hamulca wylotowego* (rys. 9).



Rys. 9.

Szybkość odrzutu w chwili, gdy dno pocisku opuszcza wylot lufy

$$V'_o = \frac{v_o (I + 0,5 \mathrm{L})}{G'_r}$$

gdzie G'_r jest ciężar masy odrzutowej wraz z hamulcem wylotowym.

Szybkość odrzutu w końcu działania gazów prochowych po wyjściu pocisku z lufy

$$V_1' = V'_o + \frac{R_x - P_x}{G'_r} g \cdot \frac{t'}{2} - \frac{K_x}{G'_r} \cdot g \cdot t'$$

Długość odrzutu

$$s'_1 = \frac{s_o (I + 0{,}5\, L)}{G'_r + I + L}$$

$$s'_2 = V'_o t' + \frac{(R_x - P_x)}{G'_r} g \cdot \frac{t'^2}{3} - \frac{K_x}{G'_r} \cdot g \cdot \frac{t'^2}{2}$$

Obliczając maksymalną szybkość odrzutu musimy uwzględnić dwa następujące wypadki:

1 wypadek:

$$R_x > [P_x + K_x]$$

wówczas

$$V_{I\,.\,max} = V'_o + \frac{(R_x - P_x)}{G'_r} g \cdot \left(t - \frac{t^2}{2t'}\right) - \frac{K_x}{G'_r} \cdot g \cdot t$$

i czas, za który ta szybkość występuje

$$t = \frac{R_x - P_x}{\frac{R_x - P_x}{t'} + \frac{K_x}{G'_r} \cdot g}.$$

2 wypadek:

$$R_x \leqq (P_x + K_x)$$

wówczas

$$V_{II\,.\,max} = V'_o = \frac{v_o (I + 0{,}5\, L)}{G'_r}$$

a więc równa się szybkości odrzutu w chwili, gdy dno pocisku opuszcza wylot lufy.

Dla *określenia skuteczności działania hamulca wylotowego,* działo ostrzeliwuje się przy kącie podniesienia 0°.

1) bez hamulca wylotowego,

2) z hamulcem wylotowym.

Przyjmiemy, że długości odrzutu przy największej szybkości odrzutu w obu wypadkach są jednakowe i, że maksymalna szybkość odrzutu następuje w końcu działania gazów prochowych, po wyjściu dna pocisku z lufy, i że opór K_x przeciwstawiony odrzutowi przez oporopowrotnik jest stały.

Oznaczając przez

K_x — opór oporopowrotnika bez hamulca wylotowego

K'_x — „ „ przy zastosowaniu hamulca wylotowego

s_3 — długość odrzutu po zaprzestaniu działania gazów prochowych na lufę.

I. W razie, gdy nie stosujemy hamulca wylotowego, praca którą wykonuje oporopowrotnik wynosi:

$$K_x s_3 = \frac{G_r}{2g} . V^2_{max} = E$$

$$K_x = \frac{G_r .}{2g . s_3} V^2_{max}$$

II. W razie, gdy stosujemy hamulec wylotowy, praca ta wynosi

$$K'_x s_3 = \frac{G'_r}{2g} . V'^2_{max} = E'$$

$$K'_x = \frac{G'_r}{2 . g . s_3} V'^2_{max}$$

a ponieważ

$$V'_{max} < V_{max}$$

to

$$K'_x < K_x$$

i skuteczność działania hamulca wylotowego

$$y = \frac{E - E'}{E} . 100$$

Ponieważ zaś G_r prawie równa się G'_r, to

$$y = \left[1 - \frac{V'^2_{max}}{V^2_{max}}\right] . 100$$

Jeżeli następnie, jak to przyjęliśmy

$$s_2 = s'_2$$

to możemy twierdzić, że zmniejszenie pracy oporopowrotnika nastąpiło na drodze odrzutu s_2 wskutek działania hamulca wylotowego czyli

$$E - E' = \frac{P_x . s_2}{2}$$

stąd zaś siła działania hamulca wylotowego

$$P_x = \frac{2 (E - E')}{s_2}$$

przy $s_2 = s'_2$ i $K_x = K'_x$ (do zaprzestania działania gazów prochowych na lufę, czyli na drodze $s_2 = s'_2$).

Rozpatrzmy następnie wpływ hamulca wylotowego na długość odrzutu i stateczność działa.

Bez hamulca wylotowego całkowita długość odrzutu wynosi

$$S = s_1 + s_2 + s_3$$

i opór powrotnika na drodze s_3 jest K_{x3} = wielkość stała.

Przy zastosowaniu hamulca wylotowego, całkowita długość odrzutu:

$$S' = s'_1 + s'_2 + s'_3$$

i opór oporopowrotnika na drodze s'_3 jest K'_{x3} = wielkość stała przyczem

$$K_{x3} > K'_{x3} \text{ i nadal } s_3 \approx s'_3$$

Powstaje tu pytanie, jaka więc będzie długość odrzutu (s''_3) przy zastosowaniu hamulca wylotowego, jeżeli K_{x3} pozostanie to samo, co i bez hamulca wylotowego?

Powinno być

$$K_{x3} \cdot s''_3 = K'_{x3} \cdot s'_3$$

Skąd

$$s''_3 = \frac{K'_{x3} \cdot s'_3}{K_{x3}}$$

Stąd zaś zmniejszona długość odrzutu

$$S_r = s'_1 + s'_2 + s''_3 = s_1 + s_2 + s''_3$$

albowiem od chwili zaprzestania działania gazów prochowych na lufę, długości odrzutu są prawie jednakowe tak bez hamulca wylotowego, jak również przy zastosowaniu hamulca wylotowego; wynika stąd, że zmniejszenie długości odrzutu stosując hamulec wylotowy wyniesie

$$m = \frac{S - (s'_1 + s'_2 + s''_3)}{S} = \frac{(s_1 + s_2 + s_3) - (s'_1 + s'_2 + s''_3)}{s_1 + s_2 + s_3} =$$

$$= \frac{s_3 - s''_3}{S}$$

albowiem

$$s_1 \cong s'_1 \text{ i } s_2 \cong s'_2$$

Przechodząc następnie do wpływu hamulca wylotowego na stateczność działa, musimy zaznaczyć, że warunek przyjęty przez nas.

iż opór oporopowrotnika K_x jest stały, nie wpływa oczywiście na stateczność łóż przymocowanych na stałe do pokładu np. okrętu lub też do specjalnych platform w artylerji nadbrzeżnej, natomiast w łożach kołowych dział, zaopatrzonych w hamulec wylotowy, musimy sprawdzić, czy stateczność ta jest zachowaną. Możemy jednak w dalszym ciągu udowodnić, że o ile działo przy pewnym określonym ładunku było na granicy stateczności, to tembardziej będzie ono stateczne przy zastosowaniu hamulca wylotowego, albowiem siła odrzutu przy tem zmniejsza się. Zachodzi tu jedynie pytanie, jak dalece możemy zwiększyć ładunek prochu w dziale z hamulcem wylotowym, zachowując nadal warunek jego stateczności, przyczem przyjmiemy, że z innych punktów widzenia (np. wytrzymałości lufy) powiększenie ładunku jest możliwe.

Oznaczmy przez

G_s — ciężar całego zespołu (lufa + łoże),
l — odległość środka ciężkości działa od lemiesza,
G_r — ciężar masy odrzutowej,
x — długość odrzutu w dowolnym momencie odrzutu,
h — odległość drogi środka ciężkości masy odrzutowej od lemiesza,
P — najwyższe ciśnienie gazów prochowych,
d — odległość środka ciężkości masy odrzutowej od osi lufy,
R_x — najwyższą reakcję gazów prochowych,
P_x — najwyższą siłę działania hamulca wylotowego.

Warunek stateczności działa według „Theorie der Rohrrücklaufgeschütze" prof. von Rausenbergera określa się przez następujące wzory:

1) W chwili, gdy następuje w lufie najwyższe ciśnienie gazów prochowych

$$K_{1x} \leq \frac{G_s l - G_r x \cos 0^0 - P_d.}{h.}$$

2) W chwili, gdy dno pocisku opuszcza wylot lufy:

$$K_{2x} = \frac{G_s l - G_r s_1 - R_x d.}{h.}$$

3) W chwili, gdy gazy prochowe zaprzestają działać na lufę

$$K_{3x} = \frac{G_s l - G_r (s_1 + s_2)}{h.}$$

O ile strzelamy, jak poprzednio, z tym samym ładunkiem pro-

chu, a równocześnie stosujemy hamulec wylotowy, ciężar którego odrzucamy, wówczas zmieni się zasadniczo tylko 2-gie równanie

$$K'_{2x} = \frac{G_s l - G_r s_1 - (R_x - P_x) d.}{h}$$

skąd

$$K_{2x} - K'_{2x} = \frac{P_x d.}{h.}$$

Wynika stąd, że działo o łożu kołowem, w którem — bez użycia hamulca wylotowego — stateczność była osiągnięta bez żadnego zapasu takowej, będzie posiadało przy zastosowaniu hamulca wylotowego zapas stateczności o wielkości

$$\frac{P_x d}{h.}$$

Stąd również wynika, że przy zastosowaniu hamulca wylotowego możemy powiększyć w dziale ładunek prochu aż do wielkości $R''_x - P''_x = R_x$ gdzie R''_x i P''_x odpowiadają największemu ładunkowi Będziemy mieli

$$K_{2x} = K''_{2x} = \frac{G_s l - G_r s_1 - R_x d.}{h} =$$

$$= \frac{G_s l - G_r s_1 - (R''_x - P''_x) d.}{h}$$

Jednak musimy tu mieć na uwadze, że o ile P'' jest najwyższem ciśnieniem przy najwyższym ładunku, to

$$K''_{1x} = \frac{G_s l - G_r x - P'' d}{h} < K_{1x} = \frac{G_s l - G_r x - P d}{h}$$

i ponieważ $K''_{1x} < K_{1x}$ zamiast być $K''_{1x} > K_{1x}$ stateczność działa może być zachwianą.

Zaradzić temu można łatwo przez dobór ładunku tak, aby

$$G_s l \geqq G_r x + P''d.$$

623.56:623.451

Ppłk. VORBRODT WACŁAW.

BADANIE DZIAŁANIA ODŁAMKOWEGO (ROZPRYSKOWEGO) GRANATÓW.

(Źródła: Artilleristische Monatshefte, Heerestechnik, Technische Mitteilungen, Artilleristische Rundschau, Army Ordnance oraz inne metody, stosowane zagranicą).

WSTĘP.

W nauce o broni istnieje poważna luka w sprawie, dotyczącej teoretycznego i praktycznego badania działania odłamkowego granatów tak, jak to zachodzi dla lotek szrapneli. Przyczyną tego zjawiska jest okoliczność, że szrapnel daje równomierny stożek rozprysku, lotki jego są jednakowego ciężaru i kształtu, ilość ich jest dokładnie znaną, a szybkość ich lotu i kierunek dadzą się obliczyć. Wręcz przeciwnie przedstawia się ta sprawa z działaniem granatów, które może być odłamkowem, kruszącem lub przebijającem; przyczem ciężar odłamków, ich ilość, wielkość, kształt, szybkość ich lotu i jego kierunek w punkcie rozprysku są bardzo różne, a zatem są bardzo mało znane lub zgoła nieznane. Poza tem gęstość rażenia jest bardzo zmienną (szybko malejąca od punktu rozprysku), a rozciągłość działania bardzo duża i wielce zmienna; siła żywa odłamków tak szybko maleje, że odłamki skrajne, nawet przy niewielkich poziomych donośnościach rozprysku (od punktu rozprysku) nie mają możności uczynić człowieka niezdatnym do walki .

Praktyczne pomiary tych wielkości są trudne i dają zbyt wielkie różnice; pomiary w bezpośredniej bliskości są wykluczone z powodu niebezpieczeństwa zniszczenia przyrządów od siły wybuchu.

Ocena działania granatu z ilości i wielkości odłamków nie jest dostateczna, bo ważną rolę odgrywa tu raczej siła rażenia i zasięg ich działania; a więc ilość odłamków musi stać w pewnym stosunku do ciężaru średniego odłamków i do siły popędowej materjału wybuchowego, o ile ma być osiągnięty pożądany skutek.

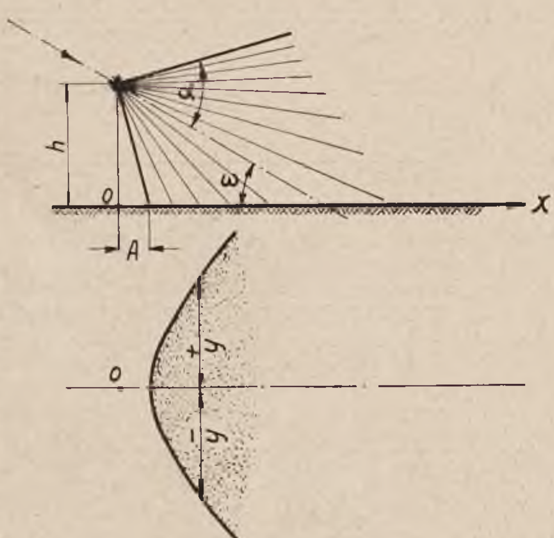
Badanie teoretyczne działania odłamków granatu musi być zatem z konieczności przybliżone i pewne *wypadki typowe* uważane być mogą za graniczne, celem porównania ich z innemi.

A. *Rozciągłość działania skutecznego strzału rozpryskowego* (Osypane pole).

Gen. Rohne bierze pod uwagę przy swojem rozważaniu dwa zasadnicze typy stożka rozprysku: *stożek pełny* (byłby on idealnym dla zwalczania celów żywych odsłoniętych) i *stożek wydrążony* (istniejący w rzeczywistości, mający pierwotne zadanie ostrzeliwania z góry celów zasłoniętych); pomijając narazie ilość odłamków, przyjmuje ich ciężar przeciętny 10 gr., szybkość w punkcie rozprysku 800 m sek. i prostolinijność torów.

Zbadaniu podlegają:

I. Granaty z pełnym stożkiem rozprysku o kącie wierzchołkowym $2\alpha = 90^0$, 150^0, 195^0, przy kątach upadku $\omega = 10^0$, 30^0, a wysokości rozprysku = 5,25 i 45 m.



Rys. 1.

Tabela I krzywych granicznych rozsiewu odłamków stożków pełnych
podaje $\mp y$ w metrach.

X m	$\alpha = 45^0$			$\alpha = 75^0$			$\alpha = 97^1/_2{}^0$, $x < 0$.		
	$\omega = 10^0$ $h = 5\,m$	$\omega = 10^0$ $h = 25\,m$	$\omega = 30^0$ $h = 25\,m$	$\omega = 10^0$ $h = 5\,m$	$\omega = 10^0$ $h = 25\,m$	$\omega = 30^0$ $h = 25\,m$	$\omega = 10^0$ $h = 5\,m$	$\omega = 10^0$ $h = 45\,m$	$\omega = 30^0$ $h = 45\,m$
0				0[x=0,44]		41,3			
1				5,0		45,0	0[x=-1,6]		
2				9,5	0[x = 2,2]	48,7	6,5		
3	0[x = 3,5]			13,6	12,5	52,3	14,9		
4	2,0			17,4	19,4	55,9	22,6		
5	4,2		0[x = 6,7]	21,2	25,0	58,9	30,1		
10	10,2		13,1	39,8	47,7	76,4	64,9	0[x= -14]	
15	15,4	0[x=17,5]	21,2	58,3	68,2	93,2	102,6	25,4	
20	20,4	11,4	27,4	76,7	87,5	110,0	140,5	77,1	
25	25,4	20,7	32,9	95,0	102,1			118,5	
30	30,4	27,8	37,9	113,4	125,6				0[x= 34,6]
35	35,3	34,1	42,6						18,2
40	40,2	40,0	47,1						71,1
45	45,2	45,7	51,4						109,1
50	49,7	51,2	55,7						
60	59,3	61,8	64,1						
70	69,0	72,2	72,6						
80	78,7	82,4	81,0						
90	88,5	92,6	89,6						
100	98,7	102,8	98,5						
—1						37,3			
—2						33,2			
—3						29,1			
—4						24,0			
—5						18,5			
—6						11,6			
—6,7						0			

II. granaty ze stożkiem wydrążonym: $2\alpha = 150^0$ i 195^0, kąt wewnętrzny stożka $2\alpha' = 90^0$; poza tem ω i h, jak powyżej.

Kąty stożka wydrążonego odpowiadają danym granatów niemieckiej armaty pol. i lekkiej hb. polowej; wysokość rozprysku 5 m jest najskuteczniejszą, wysokości 25 i 45 m są wysokościami granicznemi skutecznego działania.

Równanie krzywej granicznej rozsiewu odłamków na poziomie (przekrój stożka rozprysku) ma postać:

$$y = \pm \sqrt{tg^2 . \alpha [h \sin \omega + x \cos \omega]^2 - [h \cos \omega - x \sin \omega]^2}$$

ponieważ $\alpha > \omega$, krzywa ta jest hyperbolą.

Dla każdej donośności rozpryskowej x, można z równania krzywej określić szerokość snopa rozsiewu $2y$ *(Rys. 1)*. Odłamki, padające najstromiej, trafiają w teren w odstępie od punktu rozprysku:

$$A = hctg\ [\alpha + \omega] \text{ — wierzchołek krzywej.}$$

Jeżeli $(\alpha + \omega) < 90^0$, to punkt upadku leży poza punktem rozprysku
Gdy $(\alpha + \omega) > 90^0$, to punkt upadku leży bliżej punktu rozprysku, co wypada dla $2\alpha > 180^0$ zawsze: dla $2\alpha = 150^0$, przy $\omega > 15^0$.

Naprzykład: gdy	$\alpha = 45^0$,	$\omega = 10^0$	$h = 5\,m$,	to $A = +\ 3{,}5\,m$
gdy	$\alpha = 75^0$,	$\omega = 30^0$	$h = 25\,m$,	to $A = -\ 6{,}7\,m$
gdy	$\alpha = 97^1/_2{}^0$,	$\omega = 30^0$	$h = 45\,m$,	to $A = -\,34{,}6\,m$

Siła żywa odłamka, dostateczna dla uczynienia człowieka niezdatnym do walki wynosi około 8 klm, co może być osiągnięte różnego ciężaru odłamkami, zależnie od szybkości pozostałej, a więc:

dla ciężaru	2,5 gr. —	$u = 252$ m/sek.
„ „	5 gr. —	$u = 177$ m/sek.
„ „	10 gr. —	$u = 125$ m/sek.
„ „	15 gr. —	$u = 102$ m/sek.

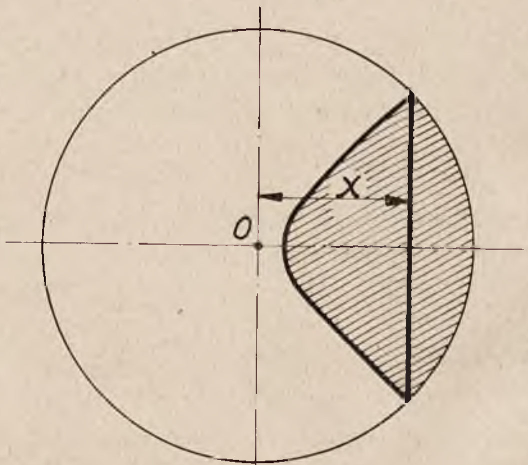
Odległość, na której zachowaną jest jeszcze dostateczna energja odłamka, zależy od v_0 w punkcie rozprysku i od innych balistycznych własności odłamka, jako pocisku; szybkość ta dla odłamków granatu jest większa, niż dla lotek szrapnela (nie zależy od odległości rozprysku), lecz jest więcej różnorodna dla poszczególnych odłamków (głowica, skorupa, dno). Gen. Rohne przyjmuje dla głównej masy średnio 600 lub 800 m/sek., wtedy rozciągłość działania skutecznego sięga do 109 m, względnie 114 m dla odłamków 10 gr. Dane tabeli I doprowadzone są zatem tylko do odległości 114 m. Podobnież dla odłamków 2,5 gr. granica działania skutecznego będzie 25 m, dla 5 gr — 57 m; dla 15 gr. — 148 m.

Obliczenie to oparte jest na określeniu równoważnej balistycznie lotki, której średnica przy ciężarze 10 gr wypada równą 1,35 cm, a spółczynnik balistyczny 0,0107 ($i = 5$), stąd według tabel balistycznych Siacci, dla $v_0 = 800$ m/sek, oraz $u = 125$ m/sek. (przy sile żywej 8 kgm), — wynika $X = 114$ m (dla $v_0 = 600$ m/sek., $X = 109$ m). Właściwie dla odłamków granatów możnaby przyjąć skuteczną siłę żywą w wysokości 6 kgm., jako silniej raniących miejsca ciała nieosłonięte, natomiast trudniej przenikających w głąb ciała; wtedy $u = 108$ m/sek.,

a odległość skutecznego rażenia $X = 132$ m; jednakże różnica ta nie ma znaczenia istotnego, bo granice skutecznego działania zależą raczej od gęstości odłamków niż od ich pędu (więcej ludzi trafionych).

Hyperbola, określona powyższem równaniem tworzy granicę dla wszystkich odłamków; granicę zaś odłamków skutecznych wyznacza koło o promieniu $\sqrt{114^2 - h^2}$, co dla $h = 5\ m$, daje R około 114 m; dla $h = 25\ m$, $R = 111\ m$ i dla $h = 45\ m$, $R = 105\ m$.

Skutecznie osypane pole składa się zatem z odcinka hyperboli i odcinka koła (Rys. 2):



Rys. 2.

Naprzykład: dla $\alpha = 45^0$, $\omega = 10^0$, $h = 5\ m$, $X = 81\ m$, $y = \pm 80 m$,— co określa się graficznie lub analitycznie.

Dzieląc pole odcinka hyperboli na trapezy, oblicza się ich powierzchnię z pomocą tabeli I i otrzyma się dla powyższych danych powierzchnię elementów, 2500 m², do tego dochodzi odcinek koła: $\frac{1}{2}\ r^2 (\text{arc}\ \beta - \sin\beta) = 14600\ \text{m}^2$. [$\beta$ — kąt centralny$=$arc $tg\, y/x$, $\beta = 154^0$]. Razem osypana skutecznie powierzchnia wynosi 17.100 m^2. W ten sposób otrzyma się poniższe wartości P skutecznie osypanych pól.

Przyczem dla $\alpha = 97^1/_2{}^0$ osypane skutecznie pole równa się całej powierzchni pola bez odcinków hyperboli i koła, ponieważ krzywa ograniczająca jest tu lewą gałęzią hyperboli i odłamki padają poza obrębem hyperboli.

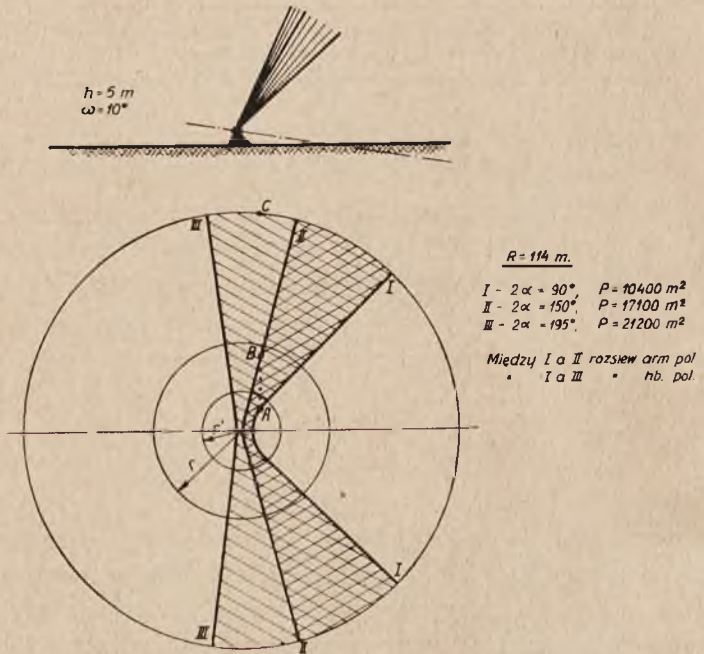
α	ω	h_m	$P_m{}^2$
	10^0	5	10 400
45^0	10^0	25	10 000
	30^0	25	10 300
	10^0	5	17 100
75^0	10^0	25	17 400
	30^0	25	18 300
	10^0	5	21 200
$97^1/_2{}^0$	10^0	45	24 700
	30^0	45	23 300

Obliczenia powyższe są jedynie pomocnemi do określenia pól skutecznie osypanych odłamkami istotnych stożków wydrążonych (granatów z pełnym stożkiem rozprysku niema); wtedy należy na wykresy granatu z kątem 150^0 i 90^0 wrysować wykres z kątem 90^0 — pomiędzy obu hyperbolami znajdzie się poszukiwane pole. Otrzymamy tedy wartości poniższej tabelki:

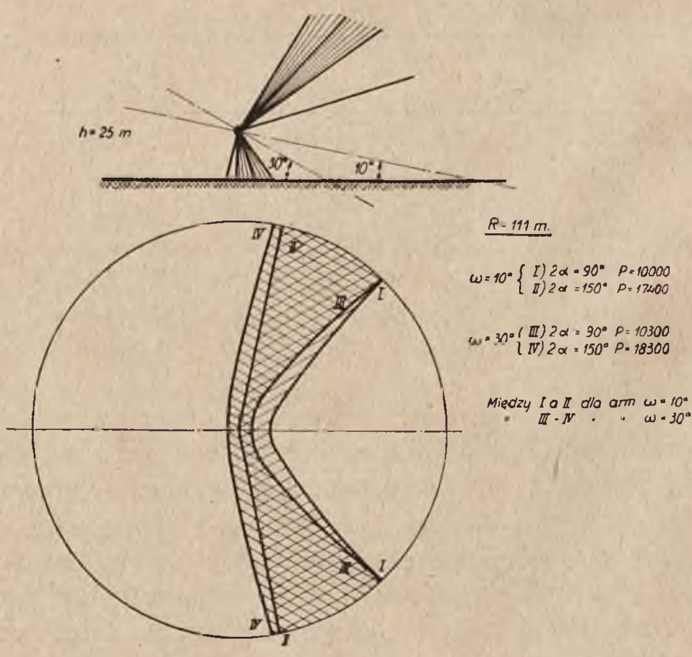
α	ω	h_m	$P_m{}^2$
75^0	10^0	5	6 700
arm.	10^0	25	7 400
pol.	30^0	25	8 000
$97^1/_2{}^0$	10^0	5	10 800
lekka	10^0	45	14 700
hb. pol.	30^0	45	13 000

Poniżej podajemy graficzne zestawienie pól osypanych skutecznie odłamkami granatów, t. j. skupienie miejsc w poziomie, gdzie odłamki mają pozostałą energję co najmniej 8 kgm, a mianowicie:

Rys. 3 dla h = 5 m, ω = 10^0. Na tym wykresie koło o promieniu r = 46 m odgranicza pole o należytej gęstości odłamków na tarczę pionową dla arm. pol. czyli $0{,}1/m^2$, koło zaś o promieniu r_1 = 21,4 m odgranicza takąż powierzchnię dla arm. pol., lecz na tarczy poziomej (patrz rozdz. B.).


h = 5 m
ω = 10°
C
B
A
r'
r
I
II
III
R = 114 m.
I - 2α = 90°, P = 10400 m²
II - 2α = 150°, P = 17100 m²
III - 2α = 195°, P = 21200 m²
Między I a II rozsiew arm pol
" I a III " hb. pol.

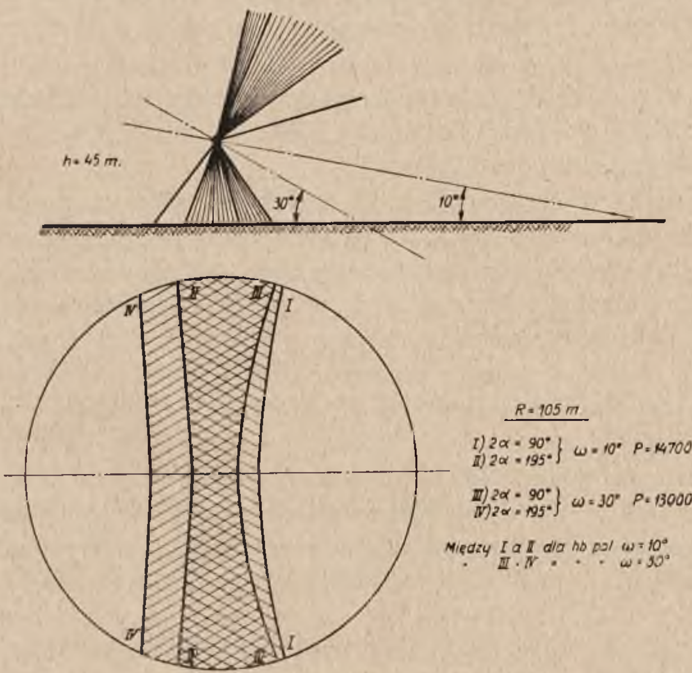
Rys. 3.


h = 25 m
30°
10°
R = 111 m.
ω = 10° { I) 2α = 90° P = 10000
II) 2α = 150° P = 17400
ω = 30° { III) 2α = 90° P = 10300
IV) 2α = 150° P = 18300
Między I a II dla arm ω = 10°
" III - IV " " ω = 30°
I
II
III
IV

Rys. 4.

Rys. 4 dla h = 25 m., $\omega = 10^0$ i 30^0.
Rys. 5 dla h = 45 m $\omega = 10^0$ i 30^0.

Powyższe pola nie zależą od ilości odłamków i ważne są dla wszelkich kalibrów, o ile odłamki ważą po 10 gr., mają te same szybkości początkowe, wysokości rozprysku i kąt stożka rozprysku.



Rys. 5.

Dla oceny ***skuteczności działania*** miarodajnemi są: ***gęstość rozsiewu*** odłamków na płaszczyznę pionową (gęstość rażenia), oraz ***wielkość*** całego ***skutecznie zagrożonego pola*** (pole rażenia).

B. Gęstość rażenia (gęstość rozsiewu).

Jest to ilość trafień na 1 m^2 celu pionowego lub poziomego; zależy ona od ogólnej ilości odłamków i wielkości osypanego pola. Z gęstością rażenia związane jest prawdopodobieństwo trafienia w cel o danych rozmiarach. Przyjmujemy, że po wykluczeniu ciężaru ładunku kruszącego i zapalnika każdy kilogram skorupy dostarcza 100 odłamków po 10 gr [w istocie bywa z kilograma najwyżej 46 odłamków po 5 gr i wyżej], stąd granat armaty 77 mm da teoretycznie *600 odłamków*, granat hb. 105 mm — *1200 odłamków.*

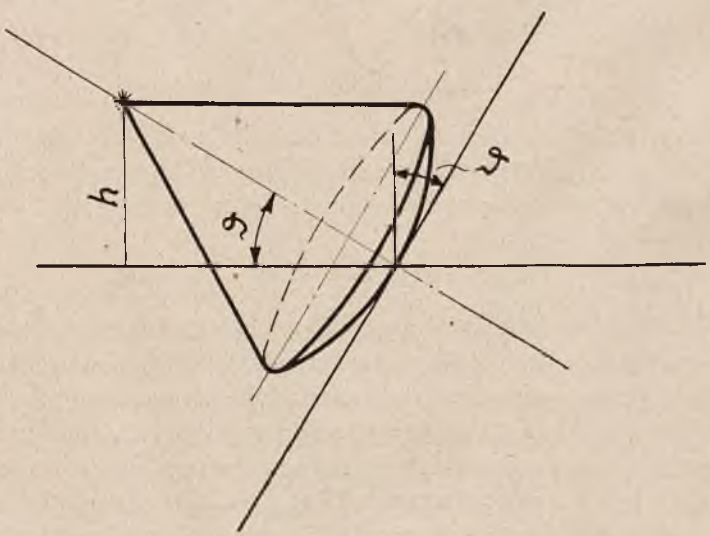
Z doświadczeń Kruppa wynikało, że z jednego kilograma lekkiego granatu otrzymuje się przeciętnie 21,4 odłamków ponad 10 gr, 18 sztuk pomiędzy 5 a 10 gr, oraz 14 sztuk pomiędzy 2,5 a 5 gr. Ciężkie granaty dają przeciętnie 39,4 odłamków ponad 5 gr. A zatem dla granatu armaty polowej wypada 150 sztuk ponad 10 gr, 120 szt. od 5 do 10 gr i 90 szt. od 2,5 do 5 gr — razem 360 odłamków ponad 2,5 gr (z innych doświadczeń urzędowych ilość ta wynosi zaledwie 135 sztuk).

Granat lekkiej hb. polowej daje praktycznie 340 odłamków ponad 10 gr, 280 sztuk od 5 do 10 gr i 230 sztuk od 2,5 do 5 gr — razem 850 odłamków ponad 2,5 gr.

Wielkość osypanego pola zależy od kąta stożka rozprysku i od odstępu do punktu rozprysku. Podział odłamków na płaszczyznę prostopadłą do osi stożka nie jest równomierny (jak przy szrapnelu), natomiast przy stożku pełnym odłamki rozkładają się równomiernie na powierzchni kulistego odcinka, a przy stożkach wydrążonych — na powierzchni kulistego pasa o wielkości $M = 2\pi r^2$ [cos. 45° — cos. α

A zatem dla armaty polowej $M = 2{,}81\ r^2$, dla haubicy polowej $M = 4{,}27\ r^2$.

Gęstość rażenia $d = N/M$ [N — ilość odłamków], na płaszczyznę poziomą $d = N/M$ sin. ϑ, na pionową — $d = N/M$ cos ϑ; ϑ — kąt płaszczyzny pionowej z płaszczyzną styczną do kuli. (rys. Nr. 6), (lub kąt upadku odłamka). $Tg\ \vartheta = h/e$ [e = odstęp rozprysku]; $r = h/\sin \vartheta$, stąd



Rys. 6.

gęstość rażenia $d_{poz} = \frac{a \sin^3 \vartheta}{h^2}$; $d_{pion} = \frac{a \sin^2 \vartheta \cos \vartheta}{h^2}$ przytem dla armaty polowej $a = 213$, dla haubicy polowej $a = 228$; [$a = N/2,81$ lub $N/4,27$].

Naprzykład gdy $h = 5$ m, $e = 25$ m, wtedy $\vartheta = 11^0 20'$,

dla armaty polowej $d_{poz} = 0{,}0646$, $d_{pion} = 0{,}323$.

„ haubicy „ $d_{poz} = 0{,}0676$, $d_{pion} = 0{,}343$.

Jeżeli wymagana gęstość rażenia ma wynosić przynajmniej 0,1′ czyli 1 odłamek na 10 m^2, to łatwo można znaleźć odnośne ϑ i e; a więc przy $h = 5$ m, na poziomej płaszczyźnie $N/M \sin \vartheta = 0{,}1$; stąd $\vartheta = 13^0 10$, dla arm. i $12^0 30'$ dla *hb.*; $e = 21{,}4$ i $22{,}4$ *m*. Osypane pola: 281 i 475 m^2 (patrz rys. Nr. 3) ograniczone są kołem o promieniu *e*.

Na płaszczyźnie pionowei $N/M \cos \vartheta = 0{,}1$; stąd $\vartheta = 6^0 12'$ dla arm. i $6^0 3'$ dla *hb*,; $e = 46$ i $47{,}1$ *m* (patrz rys. Nr. 3). Osypane pola: 1145 i 2141 m^2.

[ϑ określa się z równania: $d_{pion} = \frac{a \sin^2 \vartheta \cos \vartheta}{h^2} = \frac{[\cos \vartheta - \cos^3 \vartheta]\, a}{4\, h^2}$]

W ten sposób otrzymuje się wartość osypanych skutecznie powierzchni dla dowolnych warunków. Z zestawienia tych danych wynika, że kąt upadku ω niema wpływu na kąt ϑ ani na e, natomiast wpływa oczywiście na położenie snopa rozsiewu na terenie oraz na wielkość pola osypanego [pionowego i poziomego]. Poziome pole ze wzrostem *e* maleje, pionowe rośnie aż do $\vartheta_{max} = 54^0 44'$, poczem maleje.

Na podstawie gęstości rażenia można obliczyć odsetek trafionych celów oraz ilość trafień, o ile znane są wymiary celu i położenie punktu rozprysku względem celu; należy jednak mieć na uwadze, że równa gęstość przypada na cele, znajdujące się w tej samej odległości od punktu rozprysku, t. j. położone na obwodzie koła.

Przy dużych wysokościach rozprysku *h* występuje prawo wzrostu d^v wraz z *e* do pewnego maksimum tam, gdzie $h/e = 1{,}41$; czyli dla:

$h =$	5,	10,	25,	45 *m*
$e_{max} =$	3,5,	7,07	17,7	31,9.

Określenie trafności strzału.

Naprzykład dla $h = 5$ m, $e = 10$ m. Jak widać z rys. Nr. 3, środkowa część celu nie będzie trafioną, dopiero części boczne w odległości 10 m od środka (punkt A), aż do 40 m dla armaty (punkt B) i teoretycznie do ∞ dla haubicy, a praktycznie do odległości skutecznego rażenia (punkt C). Ze wzrostem odstępu *e* przestrzeń martwa rośnie w stosunku podwójnym do *e* — jest to zakres I-ej hyperboli.

Tabela II. obliczonych gęstości rażenia poziomych d_h i pionowych d_v.

h m.	e=	0	10	15	20	25	30	40	50	mtr.
5	d_h	8,52	0,76	0,27	0,12	0,06	0,04	0,02	0,01	Armata polowa
	d_v	0	1,52	0,81	0,48	0,32	0,23	0,13	0,08	
10	d_h	2,13	0,75	0,36	0,19	0,11	0,07	0,03	0,02	
	d_v	0,	0,75	0,55	0,38	0,27	0,16	0,12	0,08	
25	d_h	0,34	0,27	0,205	0,16	0,12	0,09	0,05	0'03	
	d_v	0	0,11	0,129	0,13	0,12	0,11	0,08	0,08	
5	d_h	9,12	0,81	0,29	0,13	0,07	0,04	0,02	0,01	Haubica polowa.
	d_v	0	1,63	0,865	0,52	0,345	0,24	0,14	0,09	
10	d_h	2,28	0,81	0,39	0,20	0,12	0,07	0,03	0,02	
	d_v	0	0,81	0,58	0,41	0,29	0,17	0,13	0,09	
25	d_h	0,36	0,29	0,23	0,17	0,13	0,10	0,05	0,03	
	d_v	0	0,12	0,14	0,14	0,13	0,115	0,09	0,09	
45	d_h	0,11	0,105	0,10	0,09	0,075	0,065	0,05	0,03	
	d_v	0	0,02	0,03	0,038	0,042	0,043	0,042	0,04	

Jeżeli $h = 25$ m i odstęp celu $e = 17,5$ m (przy $\omega = 10^0$) lub $e = 6,7$ m (przy $\omega = 30^0$) — cel jest trafiony w całej swej szerokości [rys. Nr. 4], tak przy armacie, jak przy haubicy.

Gęstość rażenia jest bardzo różną w obrębie rażonej przestrzeni, np. na rys. 3 w punkcie A wynosi ona $d_h = 0,366$, $d_v = 1,01$; w punkcie *B*: $d_h = 0,014$; $d_v = 0,119$. Wobec tak dużych różnic należy osypaną przestrzeń podzielić na strefy i dla tych określić gęstość średnią. Dzielimy więc odcinek AB na 5 części po 6 m i dla środków tych stref obliczamy gęstości rażenia; będą one: $d_h = 0,21$; 0,10; 0,052; 0,030; 0,018 oraz $d_v = 0,69$; 0,43; 0,28; 0,19; 0,14.

Pas poziomy głębokości 1 m lub tarcza pionowa wysokości 1 m otrzyma trafień 6 razy tyle (6 m^2), ile wynosi gęstość trafienia w danem miejscu; na cały taki poziomy cel głębokości 1 m wypadnie trafień 4,92, na tarczę pionową o wysokości 1 m — 20,6 [$= \Sigma d_v \cdot 12$].

Ilość trafionych ludzi określa się z wymiaru tarczy szerokości 0,5 m (powierzchnia człowieka stojącego wynosi 0,5 m^2), stąd ilość trafień wyniesie $d/2$; przy gęstości rażenia np. $d_v = 0,69$, każda „figura" będzie trafiona 0,345 razy, czyli, że ze 100 figur trafionych będzie 29,1 [patrz „Neuen Studie über den Schrapnellschuss" Rohne 1911], a zatem ze strzelców, stojących w powyższych strefach, trafionych będzie: 29,1; 19,3; 13,1; 9,05; 6,8%.

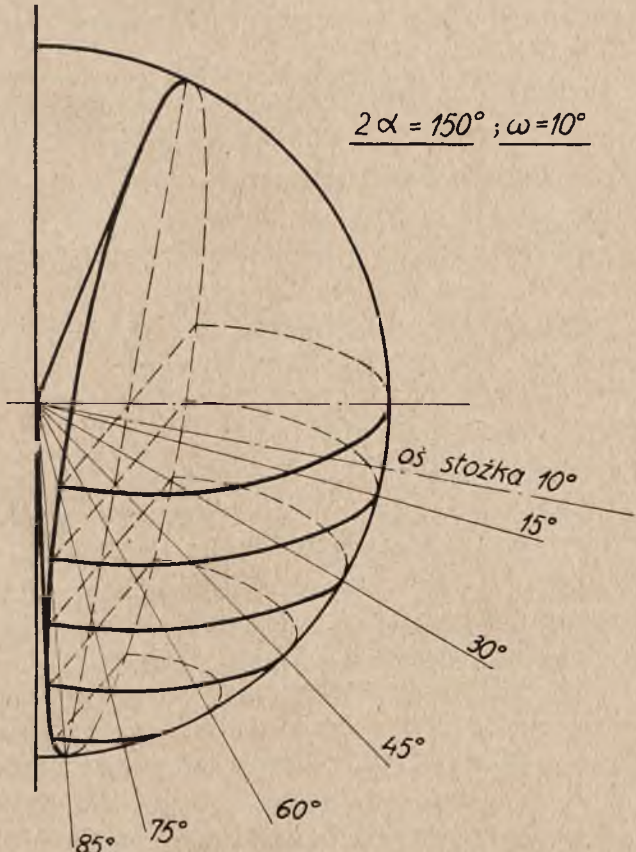
Jeżeli na 1 m frontu stoi jedna figura, to powyższe liczby należy pomnożyć przez 0,06, a na całej długości celu trafionych będzie 9,28 figur; w razie celów leżących — trafionych będzie 2,38 figur.

Przy zastosowaniu haubicy, odpowiednio do celu poziomego o szerokości 228 m, trafień poziomych będzie 5,14; pionowych — 28,5, a zatem granat haubicy, dwukrotnie cięższy od granatu armaty, posiada w tym kierunku przewagę nieznaczną. Zaletą haubicy jest to, że wskutek dużego kąta stożka rozprysku, działanie jej skuteczne mniej zależy od odstępu do punktu rozprysku (patrz rys. 3 i 5), a punkt rozprysku może nawet leżeć poza celem (działanie wsteczne).

Podobne rozważania odnieść można do celów wąskich a głębokich, położonych z boku od punktu rozprysku (kolumny marszowe).

C. *Pole rażenia skutecznego.*

Przy strzelaniu „do pola" chodzi nie tyle o gęstość rażenia, ile o wytworzenie dużego pola rażenia, przyczem rażenie to powinno posiadać działanie skuteczne (dostateczna siła żywa odłamków). Wiel-



Rys. 7.

kość skutecznego pola rażenia równa się iloczynowi z pionowej płaszczyzny celu przez ctg kąta upadku odłamka ϑ, przy zachowaniu warunku dostatecznej siły żywej odłamka.

Człowiek stojący zajmuje w rzucie pionowym 0,5 m^2 powierzchni, li $\vartheta = 1^0$, pole rażenia wynosi 28,6 m^2, lecz jeżeli wysokość rozprysku jest 6 m, to odstęp wyniesie 133 m, siła żywa odłamka nie wystarczy, i pole to nie będzie ***skutecznie*** rażone.

Pole rażenia skutecznego granatu równa się sumie pól od odłamków, branych pewnemi grupami. Rozsiew odłamków granatów układa się równomiernie na powierzchni czaszy kulistej (rys. 7) przy pełnym stożku rozprysku, lub na powierzchni kulistego pasa — przy stożku wydrążonym.

Rozpatrzmy najpierw ***stożek pełny*** i podzielmy czaszę kulistą na pasy płaszczyznami poziomemi, przechodzącemi przez punkty przecięcia promieni środkowych [kąty $\vartheta = 0, 15, 30, 45, 60, 75, 85^0$], średnie kąty upadku odłamków, padających na te pasy, będą zatem $\vartheta_m = 7{,}5;\ 22{,}5;\ 37{,}5;\ 52{,}5;\ 67{,}5;\ 80^0$.

Ilość odłamków *n*, przypadających na każdy pas stanowi taką część całej ilości odłamków *N*, jaką wykazuje wielkość powierzchni danego pasa w stosunku do całej czaszy *K*, $n = \frac{Nz}{K}$,

stąd $n = \frac{N \varphi_m [\sin \vartheta_{k+1} - \sin \vartheta_k]}{180\ [1 - \cos \alpha]}$, gdzie $\cos \varphi_m = \frac{\cos \alpha - \sin \omega \sin \vartheta_m}{\cos \omega . \cos \vartheta_m}$

$$\vartheta_m = {}^1/_2\ (\vartheta_k - \vartheta_{k+1}).$$

Przykład: $N = 600$ odłamków, $\alpha = 75^0$, $\omega = 10^0$.

dla grup $\vartheta_m =$ 7,5; 22,5; 37,5; 52,5; 67,5; 80⁰.

$n =$ 88,5 84,2 73,3 56,2 33,6 8,1

$\Sigma\ n = 344 (57\ ^0/_0)$, reszta leci wgórę.

f — Pole rażenia grupy: 336, 101,6, 47,8, 21,6, 7,0, 0,7 m^2. Całe pole rażenia granatu wynosi 515 m^2. [Obliczenia szczegółowe i wywody p. „Artilleristische Monatshefte" 1924 r. — str. 169].

Lecz nie będzie to pole rażenia skutecznego, bo skuteczne będą tylko te odłamki, dla których $\vartheta >$ arc sin *h*/114, więc dla $h = 5$ m, $\vartheta > 4^0$, czyli dla grupy pierwszej od 4—15⁰, średnio 9,5⁰, — co daje $n = 65$, $f = 195\ m^2$, zamiast 336 m^2; inne grupy mają kąty upadku większe, zatem ogólne pole rażenia skutecznego wyniesie 374 m^2. W razie gdy $h = 25$ m, $\vartheta > 12^0 40'$, pole rażenia skutecznego będzie równe 206 m^2.

Podobnie prowadzi się przeliczenia dla kątów stożka rozprysku 90⁰ lub 195⁰.

Zestawienie wyników.

Kąty stożka:	90° (N=600)	150°(N=600)	195°(N=1200)
Ilość odłamków padających wprost na ziemię przy $\omega = 10^0$	369 (61,5%)	344 (57%)	686 (57%)
To samo przy $\omega = 30^0$	487 (81%)	409 (68%)	789 (66%)
Pole rażenia skutecznego f w m^2; $\bar{\omega} = 10^0$, $h = 5$ (25) m.	496 (318)	374 (206)	829 (545)
Pole rażenia skutecznego f w m^2 ω=30°, h=5 (25) m.	563 (326)	395 (231)	732 (435)
To samo ω= 30°, h=45 m.	—	—	264

Dla stożków rozprysku wydrążonych (istotnych) bierze się różnicę powierzchni czasz kulistych.

Wyniki obliczeń:

Arm. polowa, $\omega = 10^0$, ilość odłamków uwzględnionych 318 (53%) $f = 372\, m^2$ (całkowite), f skutecznego rażenia 277 m^2 dla $h = 5\, m$ [dla $h = 25$ m, f skut. $= 167$ m^2].

Haubica pol., $\omega = 10^0$, ilość odłamków uwzględnionych 606 (50%), całkowite $= 649\, m^2$, f skutecznego rażenia 517 m^2 przy $h = 5$ m [dla $h = 25$ m, f skut. $= 311$ m^2; dla $h = 45\, m$, f skut. $= 259$ m^2].

Jeżeli $\omega = 30^0$:

armata pol., $\Sigma\, n = 63\%$, f skutecznego rażenia $= 324\, m^2$ ($h = 5\, m$) lub 196 m^2 ($h = 25$ m).

hb. pol. $\Sigma\, n = 56{,}3\%$, f skutecznego rażenia $= 555$ m^2 ($h = 5\, m$) lub 351 m^2 ($h = 25$ m) lub 298 m^2 ($h = 45$ m).

Powyższe obliczenia odnoszą się do celów pionowych; dla oceny skuteczności wobec celów poziomych (strzelcy leżący) służy analogne wyrażenie $\Sigma\, n\,.\,0{,}5\,.\,tg\, \vartheta_m$ (wielkość $0{,}5\,.\,tg\, \vartheta$ odpowiada wysokości *„tarczy bezpieczeństwa“)*, co naprzykład dla armaty polowej przy $\omega = 10^0$, daje $\Sigma = 223$ m², lecz i tu część odłamków nie będzie skuteczną (ta sama co dla celów pionowych), jednak wpływ na zmniejszenie przez to „tarczy bezpieczeństwa" będzie minimalny i wynosi dla $h = 5$ m zaledwie 0,4 m²; a dla $h = 25$ — tylko 3 m², może więc nie być uwzględnione.

Natomiast inaczej rzecz się ma z wielkością gęstości rażenia, której przy celach pionowych można nie uwzględniać.

Tutaj w miejscach w pobliżu punktu rozprysku gęstość pozioma wynosi np. więcej niż 2, to znaczy, że w cel 0,5 m² może trafić „niepo-

trzebnie" więcej niż 1 odłamek, zatem wielkość właściwa osypanej powierzchni jest mniejsza, niż dają powyższe obliczenia, i należy wprowadzić odpowiednią poprawkę w wyrażenie $\Sigma n . 0{,}5 . tg\, \vartheta_m$, a mianowicie, mnożąc je przez współczynnik $2/d_h$.

Poprawki te odnoszą się do tych grup, dla których $\sin \vartheta_m \geqslant \sqrt[3]{\frac{2h^2}{213}}$ więc np. dla $h = 5\,m$, $\vartheta_m \geqslant 38^0$, t. j. dla grup: $\vartheta_m = 52{,}5^0$; $67{,}5^0$; 80^0, jako zbyt stromych, dla nich $d_h = 4{,}25$; $6{,}72$; $8{,}14$. Odnośne zaś spółczynniki będą: 0,47; 0,29; 0,24, a $\Sigma = 103 m^2$ zamiast $223\ m^2$.

$d_h = 2$, dla $h \geqslant 10{,}3\,m$ [bo wtedy $\sin \vartheta_m = 1$], skuteczność jest wtedy największa: $\Sigma = 223\,m^2$.

Dla hb. pol. $\Sigma = 469\,m^2$, przy $h = 5\,m$; $\vartheta_m \geqslant 40^0 38'$, /w tychże grupach/, więc właściwe $\Sigma = 179\ m^2$; działanie najskuteczniejsze przy $h \geqslant 10{,}7\,m$ [$a = 228$].

Wpływ kąta upadku pocisku ω na wielkość $\Sigma\ n.\ 0{,}5\ tg\, \vartheta_m$ jest nieznaczny. Jeżeli celem służy człowiek, stojący w rowie strzeleckim, to jego powierzchnia pozioma wynosi $0{,}125\ m^2$, graniczna gęstość jednorazowego trafienia wynosi 8, co przy $h = 5\,m$, daje $\vartheta_m \geqslant 78^0$.

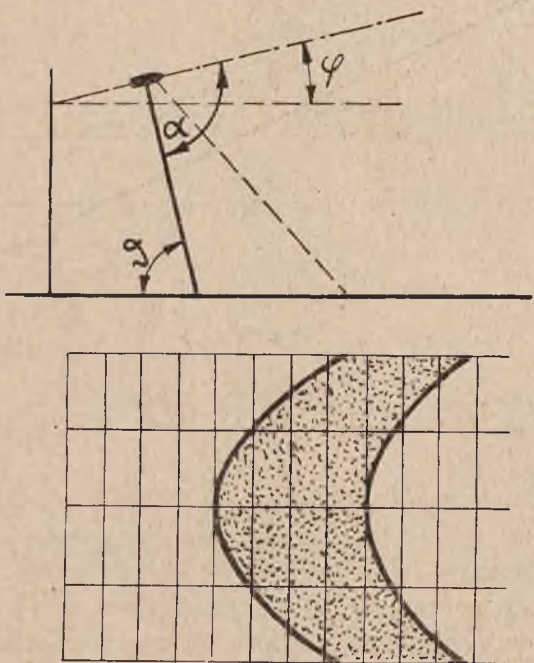
W podobny sposób można badać działanie odłamków różnego ciężaru, uzyskanych praktycznie drogą fragmentacji. Kąty upadku bierze się z tabel strzelniczych, a kąty stożków rozprysku określa się metodami balistyki doświadczalnej. A mianowicie: *kąt upadku* określony zostaje albo balistografem Dudy (w dzień) lub np. metodą fotogramometryczną Neesena (w nocy); kąt zaś *stożka rozprysku granatu określa* się w sposób następujący: z odległości 200 m strzela się do tarczy wysokości około 5 m, która powoduje wybuch pocisku. Na ziemi leży poziomo druga tarcza, podzielona na prostokąty. Ładunek miotający prochu tak się dobiera, aby szybkość pocisku po przebiciu tarczy była równą v_k dla badanej odległości strzału.

Położenie punktu rozprysku za tarczą pionową ustala się fotograficznie i stąd oblicza się kąt lotu φ (rys. 8). Z granicznych śladów trafień na tarczy poziomej określa się kąt upadku ϑ najwięcej stromo padających odłamków, a stąd $\alpha = [\varphi + \vartheta]$ dla szybkości v_k. Następnie oblicza się szybkość odłamków prostopadłą do toru, pochodzącą z ładunku wybuchowego: $v_r = v_k\ .\ ctg\, \alpha$, oraz: $v_s = v_k \cos \alpha$ — istotną szybkość skrajnych odłamków w punkcie rozprysku. Stąd dla innej odległości z szybkością v'_k kąt stożka będzie dany równaniem:

$$tg\ \alpha' = \frac{v'_k}{v_r}.$$

Siła odśrodkowa jest znikomą wobec siły wybuchu, a zatem zmniejszony ładunek miotający nie wywiera wpływu na pomiary.

Określenie praktyczne zasięgu działania odłamków granatu odbywa się podobnie, jak i dla lotek szrapnela, t. j. strzelaniem, do specjalnie ustawionych celów, złożonych z szeregów tarcz o wymiarach człowieka i tak rozstawionych, aby pewien odłamek dawał ślad trafienia możliwie w jednej tylko tarczy. Grunt

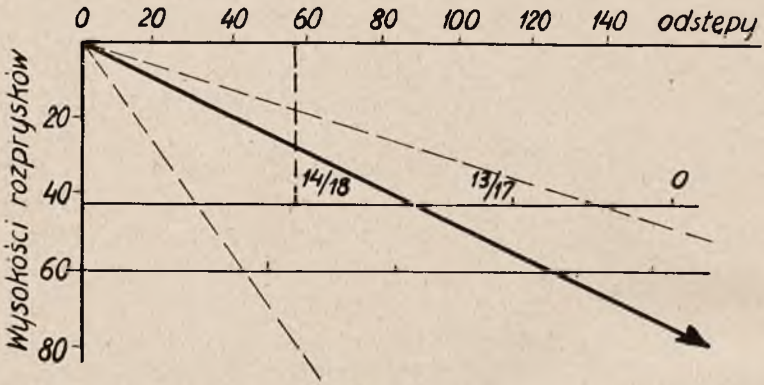


Rys. 8.

bywa zorany w zagony, aby uniknąć trafień z odbicia. Wysokość i odstęp punktu rozprysku ustala się w odniesieniu do przedniej tarczy [z pomocą fotograficznej kamery]. Po każdym strzale określa się ilość trafień i trafionych celów, poczem określa się skutek przy różnych wysokościach i odstępach rozprysku. Wynik przedstawia się wykreślnie, przyjmując położenie punktu rozprysku za stałe (O), oraz oznaczając położenia poszczególnych tarcz i obok nich ilość trafień skutecznych i słabych oraz ilość trafionych celów i kierunek toru pocisku (rys. 9). Np. dla położenia 42,58 okazało się: w 14-tu tarczach 18 trafień ostrych, a w następnych tarczach (50 m odstęp) w 13 tarczach 17 trafień i t. d. Obraz ten daje granice kąta stożka rozprysku

i najlepsze położenie punktu rozprysku dla użytku tabel strzelniczych.

Określenie praktyczne szybkości lotu odłamków może odbywać się metodą Boulengé analogicznie do pomiarów szybkości wylotowej pocisku: pocisk owija się przewodami z drutu (I rama), a w odległo-



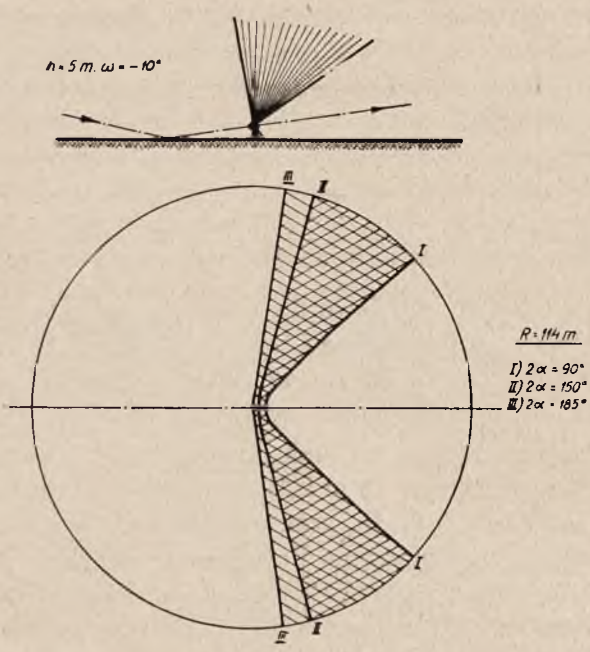
Rys. 9.

ści 10 m naokoło ustawia się II-ramę; stąd określa się przeciętne v, [które np. dla granatów jednej z haubic 105 mm Schneidra wynosiło 1000 m/sek.].

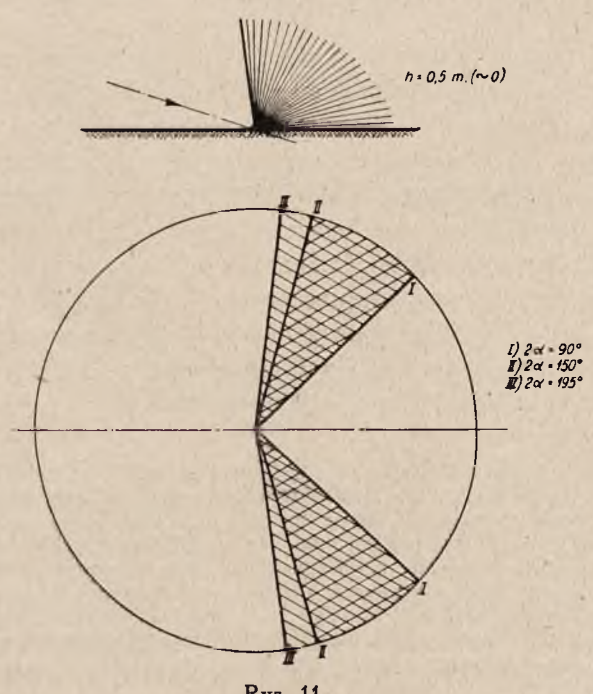
Badanie doświadczalne sprawności odłamków granatów francuską metodą „Bourges" polega na następującem urządzeniu: na słupku wysokości 1 m umieszcza się badany pocisk i doprowadza się go do wybuchu prądem elektrycznym. W odległości 10 m od słupka znajduje się parkan z desek sosnowych grubości 41 cm, wysokości 2 m, szerokości 0,5 każda, zajmujący $^1/_4$ okręgu koła; w odległości 20 m znajduje się drugi taki sam ćwierćkrąg z desek; to samo jeszcze w odległości 30 i 40 metrów od środka. Po rozsadzeniu pocisku odnotowuje się ilość A przebitych desek, oraz ilość *B* otrzymanych otworów; następnie oblicza się spółczynnik średniej ilości otworów B/4 oraz spółczynnik średniej ilości trafionych desek A/318 w procentach, gdzie 318 oznacza ogólną ilość użytych desek, z których każda posiada wymiar 1 m², a do przebicia takiej deski wymaganą jest energja 16 kgm. Obliczone dane służą jako liczby porównawcze.

D. Strzał z odbicia i strzał uderzeniowy.

Do badania służy to samo równanie krzywej granicznej odłamków, lecz wyniki są jeszcze bardziej przybliżone, albowiem *strzał*


h=5m. ω=-10°
III
II
I
R=114 m
I) 2α=90°
II) 2α=150°
III) 2α=185°

Rys. 10.


h=0,5 m. (~0)
III
II
I
I) 2α=90°
II) 2α=150°
III) 2α=195°

Rys. 11.

z odbicia zależy od właściwości terenu. Kąt odbicia przyjmujemy 10° (wyjątkowo bywa $\omega = 30^0$). *Strzał uderzeniowy* można rozważać, jako strzał z odbicia z punktem rozprysku położonym bardzo nisko np. na wysokości ½ m.

Dla określenia zasięgu rozsiewu odłamków należy w równanie krzywej granicznej wstawić $\omega = -10^0$ i otrzyma się:

$$Y = \pm\sqrt{tg^2\,\alpha\,(x\cos 10^0 - h\sin 10^0)^2 - (h\sin 10^0 + h\cos 10^0)^2}$$

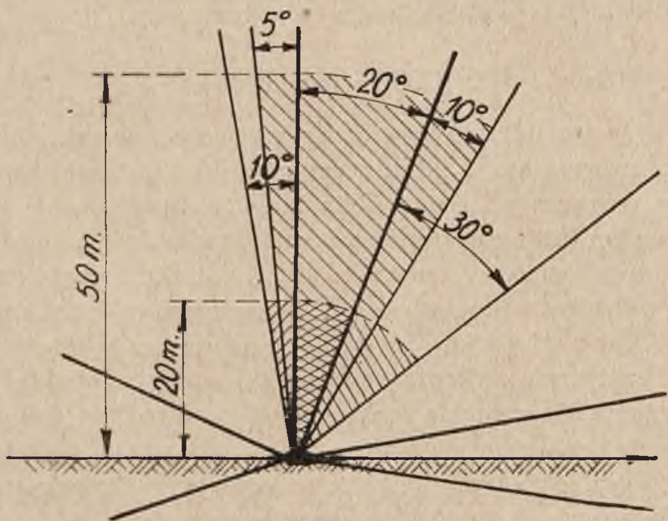
Rys. 10 daje wykres rozsiewu dla $h = 5$ m, co daje mniejszy zasięg niż dla strzału rozpryskowego (rys. 3). Rysunek 11 przedstawia wykres rozsiewu dla $h = 0{,}5$ m, co zbliża się bardzo do wykresu strzału uderzeniowego [dla $h = 0$, wykres tworzą dwie linje proste].

Gęstość rażenia oblicza się jak poprzednio, przyjmując $h = 0{,}5$ m; więc w odległości 10 m i 25 m od punktu rozprysku otrzymuje się: $d_v = 2{,}33$ i 0, 253 dla arm. pol., oraz $d = 2{,}80$ i 0.378 dla hb. pol., jako liczby orjentacyjne. Przy strzale z odbicia granatu armatniego — 279 odłamków (46,4%) pada ku dołowi i pokrywa ze skutecznem rażeniem 291 m² (przy $h = 5$ m), przy strzale uderzeniowym ($h = 0{,}5$ m) pole to wynosi 388 m². Przy stosowaniu granatu haubicy: 585 odłamków (48,7%) pokrywają skutecznie odpowiednio pola: 614 i 660 m².

Zatem skuteczność strzału z odbicia lub uderzeniowego jest jakoby większą pod względem zasięgu działania odłamków niż strzału rozpryskowego z wysokości 5 m; jednak należy wziąć pod uwagę, że wiele odłamków może utknąć w nieznacznych nierównościach terenu, wobec bardzo płaskiego toru swego lotu, przytem skuteczność działania takich odłamków na cele leżące jest małą (nieznaczna ilość odłamków i małe kąty upadku). Ocena skuteczności wobec celów poziomych (określenie „tarczy bezpieczeństwa": $\Sigma n.\ 0{,}5.\ tg\ \vartheta_m$ daje dla strzałów armatnich z odbicia, przy $\omega = -10^0$, najwyższą wartość 96 m²; dla $h = 5$ m spada ona do 71 m² skutecznego rażenia, a przy $h = 0{,}5$ m do zaledwie 5 m² (strzał uderzeniowy).

Jeżeli chcemy porównać *skuteczność działania granatu i szrapnela,* można to uczynić jedynie przy jednakowych elementach, t. j. mając te same wysokości rozprysku i kąty upadku pocisku; badanie to zostało szczegółowo przeprowadzone przez gen. Rohne'go w listopadowym numerze „Artilleristische Monatshefte" z 1924 r. oraz w temże czasopiśmie z 1922 r., gdzie również znajduje się polemika między tym autorem a kpt. Justrowem w sprawie porównawczej skuteczności działania granatu i szrapnela armaty i haubicy polowej; tamże w numerze marcowym jest krótki artykuł z praktyki o działaniu na wojnie odłamków granatów (przez inż. Meienreisa), a w roczniku z 1925 r. znajdujemy wiadomości „o zastosowaniu szrapneli i granatów przeciw piechocie".

Powyżej przytoczone rozważania teoretyczne gen. Rohne'go należy uzupełnić jeszcze więcej nowoczesnemi badaniami, jakie podaje major Justrow w czasopiśmie „Artilleristische Rundschau" w lutym 1929 r. Twierdzi on, że przy ostrzeliwaniu systematycznem stałych i dokładnie znanych celów należy znać możliwie ściśle działanie pojedyńczego strzału, aby metodę strzelania dostosować do tegoż. A ta skuteczność jest dość złożona, bo wielkość i kształt przestrzeni osypanej odłamkami zależy od kształtu pocisku, od jego szybkości pozostałej, od siły wybuchu (szybkość odłamków), od kąta upadku pocisku; przyczem szybkość lotu od detonacji materjału wybuchowego bywa 1300—2000 m/sek. Jak się okazuje, przy strzale uderzeniowym granatu tworzą się trzy stożki rozpryskowe (rys. 12):



Rys. 12.

1. Główny stożek powstaje z odłamków skorupy, które grupują się wokół punktu rozprysku na powierzchni kulistego pasa; przy granacie armaty 77 mm główna masa odłamków skupia się w stożek o kącie wierzchołkowym 20° [tylna tworząca jest prostopadła do skorupy pocisku], w obrębie tego stożka w odległości do 20 m cele zostają gęsto usiane odłamkami. Poza tym stożkiem wstecz na 10° i do przodu na 30° [do 50° od prostopadłej] układają się liczne jeszcze odłamki, — z nich cięższe sięgają skutecznie do 20 m [co drugi człowiek z gęstej kolumny może być trafiony]. Ze zwiększeniem odległości — ilość skutecznych odłamków szybko maleje, i w odległości 50 m rozciągłość tego stożka sięga do 5° wstecz i do 30° wprzód od prostopad-

łej [co 6-ty człowiek może być trafiony]. W haubicy 105 mm rozciągłość tego stożka sięga do 40° wprzód w odległości 50 m [co czwarty człowiek trafiony].

2. Stożek przedni, pochodzący z głowicy pocisku, daje kształt kulistego wycinka i stopniowo przechodzi w stożek boczny (odgraniczają te stożki rzadkie pojedyńcze odłamki).

3. Stożek tylny, pochodzący z dna pocisku, wyraźnie odgraniczony od stożka bocznego

Przy kątach upadku dużych — stożek przedni idzie w ziemię, boczne stożki biją do przodu, tylny — wgórę. Rozkład odłamków zależy od rodzaju pocisku: inny będzie dla cienkościennego granatu stalowego, a inny — dla grubościennego żeliwnego lub półpancernego; zależy też od rodzaju zapalnika i wielkości jego zwłoki oraz od siły detonacji materjału wybuchowego (siła krusząca).

E. Fragmentacja.

Siła krusząca jest główną oceną własności materjału wybuchowego, lecz zależy ona od kilku czynników jako to: szybkości detonacji, ilości wytworzonych gazów, ilości ciepła wytworzonego z 1 kg i t. p. a zatem trudno jest bezpośredniemi pomiarami określać tę siłę lub dać na nią pewną liczbę czy wskaźnik. Berthelot radzi charakteryzować materjał wybuchowy iloczynem z V_0 (objętość gazów w 1 kg) razy Q (ilość ciepła wybuchu 1 kg), co jednak nie daje ścisłej oceny siły kruszącej. Praktycznie najlepszą metodą tej oceny, z punktu widzenia wojskowego, jest określenie *fragmentacji*, powszechnie stosowane.

W praktyce ustala się ilość i ciężar odłamków, powstałych od wybuchu przez rozsadzenie pocisku w jamie wybuchowej; lecz w ten sposób okazują się duże różnice nawet przy granatach identycznych. Próba taka służy punktem oparcia przy odbiorze *skorup* pocisków z danego wytopu. Postępowanie to może służyć tylko za surową ocenę skorup, bo wskutek przepisowych własności fizycznych i chemicznych oraz sposobu wyrobu kruchość tworzywa jest określona, a zatem i rozpadnięcie się skorupy; podczas gdy próba wybuchowa zależy też od rodzaju i wielkości ładunku kruszącego, od rodzaju detonacji (elaboracji) i rozkładu materjału wybuchowego, co wpływa często na niejednostajność działania granatu. Nie można zachować tej samej ilości minimalnej odłamków, gdy zmienia się sposób nabijania (elaboracji) lub rodzaj materjału wybuchowego, albo konstrukcja pocisku (grubość ścianek, fizyczne własności tworzywa); przytrzymując się zaś warunków odbiorczych, co do ilości odłamków, można otrzy-

mać zbyt wielką kruchość materjału, co wpłynie ujemnie na wytrzymałość pocisku przy strzale w lufie.

Byłoby pożądanem zastąpić kosztowną, mozolną i niepewną próbę wybuchową — metodą rachunkową, któraby pozwoliła na podstawie fizycznych własności tworzyw, ustalonych przy odbiorze oraz na zasadzie innych konstrukcyjnych znanych własności — obliczyć ilość odłamków.

(Zajmował się tem zagadnieniem prof. Lorenz w Ztschr. d. Ver. d. d. Ing. w 1919 r., opierając się na kinetycznej teorji gazów oraz dr. inż. Jacobi w Ztschr. Schiess-und Sprengstoffwesen w 1917 r. i dr. Berndt w temże czasopiśmie z 1919 r.).

Sprawę tę ujął również teoretycznie, lecz opierając się na doświadczeniach, major Justrow (Technik und Wehrmacht 1921 r.) i jego wywody tu podajemy.

Rozprysk pocisku zależy od następujących czynników:

1. Wielkość ładunku kruszącego,
2. Rodzaj materjału wybuchowego,
3. Fizyczne własności tworzywa skorupy, t. j. wytrzymałość, sprężystość i ciągliwość.
4. Kaliber.
5. Grubość ścianek pocisku.
6. Kształt pocisku i rodzaj konstrukcji.
7. Chemiczny skład tworzywa skorupy.
8. Rodzaj obróbki pocisku.

Trzy ostatnie punkty trudno jest ująć liczbowo w jakimś ogólnym wzorze, przyjmujemy więc, że pocisk ma kształt jednostajny walcowy (ostrołuk i zwężony ogon uwzględnia się w pewnym spółczynniku wyrównawczym). Chociaż pocisk z hartowaną głowicą lub ze stali niklowej zachowuje się odmiennie, lecz wpływ czynników (pkt. 7 i 8) jest niewielki i odbija się zresztą na wytrzymałości tworzywa.

Rozważmy pkt. 1 i *2*, t. j. wpływ ładunku kruszącego, jego wielkość, energja, gęstość, czas spalania, przebieg krzywej detonacji — są to czynniki, których wzajemna zależność i wpływ na rozprysk pocisku są trudne do uchwycenia. Zajmował się tem prof. Kast (Ztchr. Schiess und Sprengstoffwesen) oraz Justrow w artykule „Spreng und Zündstoffe" (Technik und Wehrmacht 1921) i za miarę oceny *mocy materjału wybuchowego* przyjęto wzór:

$$\frac{\text{potencjał} + \text{gęstość}}{\text{czas przebiegu wybuchu}};$$

dla ustalenia wyników rozprysków w zależności od tej mocy nie przedsięwzięto żadnych badań teoretycznych ani praktycznych. Częściowe próby były podjęte w Zbrojowni Picatinny w Stanach Zjednoczonych przy użyciu jednego metalu na skorupy (stalowy granat 75 mm) i jednej gęstości ładunku kruszącego ($1{,}39 \pm 0{,}1$), co dało w wyniku przeciętnie dla trójnitrotoluolu — 725 odłamków, dla materjału D — 630, dla amatolu $^{80}/_{20}$ — 660, jako porównanie ich siły kruszącej (rys. 13).



Rys. 13.

Aby uniknąć trudności, jakie wynikają np. ze zmiany ciężaru właściwego ładunku, zależnego od sposobu elaboracji (prasowanie czy odlewanie) oraz z niezupełnego wypełnienia wnętrza skorupy, — Justrow wprowadza we wzór absolutną wartość ciężaru ładunku Q, a inne czynniki, zależne od materjału wybuchowego, określa się doświadczalnie i uwzględnia przez wprowadzenie stałych spółczynników.

Zależność kruchości od *fizycznych własności tworzywa* (pkt. 3) przedstawia się wzorem, podającym odwrotność ciągliwości, t. j.

$$\frac{1}{\left(\frac{k_z \cdot \varepsilon}{\sigma \cdot 100}\right)};$$

k_z — wytrzymałość na rozerwanie, ε — przydłużenie, σ = granica płynności. Kruchość materjału można ocenić próbą na udarność, lecz w tym kierunku brak doświadczeń, co do pocisków, a doświadczenia statyczne nie można zawsze stosować do efektów dynamicznych.

Ciężar pocisku jest związany z *kalibrem*, a zatem należy zbadać zależność od kalibru (pkt. 4). Ilość odłamków rośnie w stosunku Q/D, czyli CD^2, co byłoby wówczas, gdyby grubość ścianek rosła w stosunku prostym do kalibru, czego w istocie nie bywa; lepiej więc do wzoru ogólnego wprowadzić stosunek kalibru do średnicy wydrążenia pocisku.

Aby ocenić *opór ścianek* (pkt. 5) należy wiedzieć, o ile siła detonacji przewyższa wytrzymałość ścianek pocisku. Autor wychodzi ze wzoru na wytrzymałość wydrążonych walców, podlegających ciśnieniu wewnętrznemu, gdzie

$$r_e = r_i \sqrt{\frac{\sigma + 0{,}4\,pi}{\sigma - 1{,}3\,pi}}, \text{ stąd } pi/\sigma = \infty\, 3/4\, \frac{K^2 - 1}{K^2 + 0{,}5}; \quad K = r_a/r_i$$

i stąd dalej wyprowadza wzór, w którym ilość odłamków jest proporcjonalna do ułamka:

$$4/3\, \frac{K^2 + 0{,}5}{K^2 - 1};$$

ilość odłamków maleje ze wzrostem K (grubsze ścianki).

Dokładna wartość ciśnienia wewnętrznego jest nieznaną, a zatem wprowadzać jej do wzoru nie można; przebieg bowiem ciśnienia w granacie jest całkiem inny niż w bombie laboratoryjnej (z bloku ołowiu), zawierającej małe ilości materjału wybuchowego. Pocisk zapewne rozrywa się stopniowo, poczynając od zapalnika aż do dna, i sposób jego rozerwania zależy od szybkości detonacji (nadaje się tu do badań kinematograf balistyczny ze zwolnionemi zdjęciami lub iskrowy chronograf). Należy wprowadzić i tu do wzoru spółczynnik doświadczalny, charakteryzujący rodzaj materjału wybuchowego.

Z powyższych rozważań wynika *ogólny wzór na ilość odłamków:*

$$\Sigma = \frac{a\, Q}{D\, \frac{k_z\, \varepsilon}{\sigma}\, \frac{K^2 - 1}{K^2 + 0{,}5}}$$

Q — ciężar ładunku wybuchowego w gramach (np. dla gran. stalowego 150 mm cienkościennego $Q = 4860$ gr.)

D — kaliber w centymetrach. (np. 15 cm).

k_z — wytrzymałość na rozerwanie [np. 80 kg/mm^2].

σ — granica płynności [np. 45 kg/mm^2].

ε — przydłużenie (np. 10%).

$K = r_a/r_i$ [=1,49].

a — doświadczalny spółczynnik materjału wybuchowego (dla kwasu pikrynowego $a = 50$).

Wówczas $\Sigma =$ około 2000.

Średni ciężar odłamków $g = \frac{G - Q}{\Sigma}$; (G — ciężar pocisku).

Na podstawie tego wzoru została ułożoną *tabela* dla różnych pocisków, przyjmując ich walcową postać (K przeciętne) z głowicą ostrołukową o promieniu $2D$; ciśnienie przyjęto 2500 kg/cm^2, $a = 50$. Obliczenie średniego K oparte jest na przyjęciu walcowego kształtu, zamkniętego z obu stron, i wynika z równania trzeciego stopnia. $y = ax^3 + bx - c = O$; dla $x = K$, gdzie: $a = Q/\gamma_Q$; γ_Q — ciężar właściwy materjału wybuchowego.

$b = \left[\frac{\pi d^3_a}{4} - \frac{H}{\gamma_H} - \frac{Q}{\gamma_Q}\right]$; H — ciężar skorupy z dnem i zapalnikiem; γ_H — ciężar właściwy skorupy.

$c = \frac{d^3_a}{4}$.

Rozwiązanie przeprowadza się *wykreślnie.*

Podajemy poniżej wyciąg z tabeli.

Wnioski z tabeli.

1. Z własności fizycznych metalu główny wpływ na działanie odłamkowe ma *przydłużenie:* im ono jest *mniejsze, tem więcej odłamków.*

2. Przy jednakowym ciężarze pocisków, ilość odłamków wzrasta ze zwiększeniem ładunku kruszącego, a ze zmniejszeniem grubości ścianek.

3. Granat z lanej stali daje prawie ten sam wynik, co ze stali prasowanej, bo pomimo mniejszego przydłużenia musi mieć odpowiednio grubsze ścianki, co się wzajemnie kompensuje.

4. Ze wzrostem ilości odłamków maleje ich przeciętny ciężar (działanie rażące dostateczne zaczyna się od $g = 10$ gr, jak wynika z doświadczeń).

Przy dużych ładunkach wybuchowych należy liczyć się ze stratą co najmniej 5% odłamków rozpylonych.

Spółczynniki *a* dla różnych materjałów wybuchowych są następujące:

nitrogliceryna i rtęć piorunująca —	54
kwas pikrynowy	50
trójnitrotoluol	46
amonal i bawełna strzelnicza	40
proch czarny	3

Stoją one w stosunku prostym do siły kruszącej materjału wybuchowego.

Powyższa tabela daje mniej więcej odpowiednie liczby dla amunicji niemieckiej.

Przykłady fragmentacji (z doświadczeń).

(p. załączniki).

623.454.25

KAZ. KONCA.

ZAPALNIKI NATYCHMIASTOWE.

„Wartość bojowa każdej artylerji zależy przedewszystkiem od skutecznego działania jej pocisków“ — jest to sama przez się zrozumiała, i elementarnie słuszna zasada, zaczerpnięta i przytoczona tu z jednego z francuskich podręczników.

Dbając o naszą artylerję, dużo poświęcamy miejsca w fachowych pismach, omawianiu spraw związanych z technicznem wykonaniem pewnych przedmiotów, używanych w artylerji, rozstrząsamy różne teorje strzelania, sposoby pomiarów pewnych wartości, występujących w artylerji, myślimy o sposobach zwiększających donośność strzału, usiłujemy usprawnić szybkość poruszania się jednostek bojowych artylerji i t. d. Wszystko to oczywiście jest bardzo ważne, ale źle jest to, że za mało poruszamy na łamach prasy fachowej sprawę podniesienia *skuteczności działania naszych pocisków.*

Oczywiste, że ruchliwość jednostek bojowych artylerji, zarówno jak celność, dalekonośność dział i t. p., są to czynniki wpływające na wartość bojową, czyli na *wydajność* artylerji; nie zawsze jednak wartość powyższych czynników jest jednakową, a w pewnych wypadkach ważność ich znacznie maleje, np.: wartość zdolności szybkiego poruszania się maleje w wojnie *pozycyjnej.*

Ale zawsze, we wszystkich wypadkach strzelania, *efekt strzału czyli skutek jego niszczącego lub rażącego działania* jest tym podstawowym czynnikiem, od którego zależy skuteczność każdego strzelania, co właśnie wpływa bezpośrednio na t. zw. *wydajność* artylerji.

Stwierdzić należy, że wiele naszych podręczników pomija kwestję skuteczności działania pocisków lub porusza ją pobieżnie, w szkołach zaś zwraca się na nią mało uwagi.

W oddziałach linjowych do ostatniego czasu *wybuchem pocisku* zajmowano się tylko o tyle, o ile to dotyczyło wstrzeliwania się; artylerzyści nasi dążąc do mistrzostwa we wstrzeliwaniu się, w wielu wypadkach nie mają dostatecznych wiadomości, dotyczących całokształtu sprawy skuteczności działania swoich pocisków.

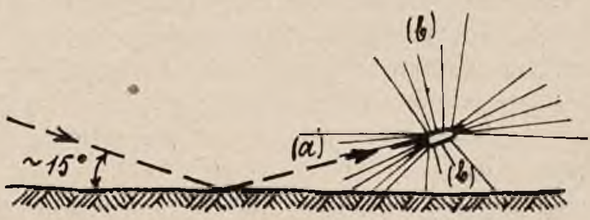
W Rosji w roku 1908 został odrzucony po próbach 3 calowy granat, ładowany melinitem, uzbrojony w zapalnik z opóźniaczem. Jako usprawiedliwienie tego podano obserwację poligonową, że granat ten przy małych kątach strzelania daje odskok i dopiero wówczas wybucha, wskutek czego podczas wstrzeliwania się można mylić się w określeniu donośności, bowiem wybuch zdarzyć się może ztyłu, za przedmiotem ostrzeliwanym, podczas gdy punkt upadku pocisku znajduje się przed celem. Śmieszne, ale rzeczywiste. Trzeba było dopiero wojny 1914—1918 r., aby przekonać się o popełnionym błędzie i ocenić ten granat z punktu widzenia jego wielkiej skuteczności rażenia, nie zaś według dogodności przy wstrzeliwaniu się. Wcześniejsze zwiększenie *skuteczności* działania danego typu pocisków, dawało zawsze czasową przewagę artylerji danej strony walczącej nad jej przeciwnikiem. (Np., wprowadzenie pocisków gazowych lub zapalników natychmiastowych i t. p.). Poświęcimy więc nieco uwagi, aby zbadać, jakie czynniki wpływają na *skuteczność* działania pocisku, zwracając uwagę szczególnie na zapalnik, który jest jakby *duszą* pocisku, bez niego bowiem najlepiej zaprojektowany i wykonany pocisk będzie naogół biorąc bezskutecznym.

Wydaje się, że trudno będzie zainteresować opisem konstrukcji zapalników szersze koło czytelników z linji, którzy być może w większości swej sądzą, że rozważania nad konstrukcją zapalnika i uwarunkowaną przez niego skutecznością działania pocisków, należą do grona specjalistów-techników, i że jeśli będą oni strzelali według przepisów odnośnych regulaminów, to już tem samem osiągną najlepszą skuteczność ognia.

Taki pogląd uznany dziś musi być jako przestarzały. Konieczność zupełnego i dokładnego poznania przez oddziały linjowe wszystkich szczegółów, jakie występują w skutecznej pracy pocisku, dziś musi być powszechnie uznana i należy spodziewać się, że już niedługo nadejdzie ten czas, kiedy każdy artylerzysta, będzie zupełnie dobrze rozumiał dlaczego jakiś tam „bardzo czuły zapalnik wz. I około 90 mm długości i około 300 gr wagi" posiada dlań nie mniejsze znaczenie i zasługuje na większą uwagę niż nawet takie nowości, jak elektryczna armata.

Z pośród nowości, które zostały wprowadzone w użycie w wojnie 1914—1918 r. w dziedzinie budowy i uzbrojenia pocisków artyleryjskich, wprowadzenie zapalników natychmiastowych (fusée instantanée) lub bardzo czułych (extra- empfindlich), jak nazywają je Niemcy, zasługuje na uważne zbadanie dlatego, że wprowadzenie tych zapalników, doprowadziło w wielu wypadkach do znacznego podniesienia *skuteczności* działania pocisków. Właściwie mówiąc, podobne zapalniki znane były i przed tą wojną, jak np. zapalniki do pocisków dla armaty przeciw samolotom, zbudowanej przez Kruppa. Lecz pierwsze masowe zastosowanie takich zapalników w artylerji polowej, z tem, aby otrzymać wybuch pocisku *przed zagłębieniem się jego do ziemi,* uskutecznione było przez Francuzów w czasie wielkiej wojny.

Posiadając na początku tej wojny dobry granat 75 mm, zaopatrzony w zapalnik z opóźniaczem, Francuzi byli bardzo zadowoleni ze skuteczności działania jego na bliskich i średnich odległościach. Na tych bowiem odległościach kąt upadku wynosi około 15° i dlatego pocisk zawsze odskakuje, i wskutek działania opóźniacza w zapalniku wybucha dopiero po odskoku na torze wznoszącym się. Dlatego więc taki wybuch dostatecznie razi odłamkami cele zarówno otwarte, jak też i lekko przykryte zprzodu. Nie będę tego faktu szczegółowiej rozważał, bowiem artylerzyści nasi mieli dużo sposobności, żeby o tem przekonać się i zdać sobie sprawę z doniosłości tego zjawiska, przytoczę tu tylko szkic (rys. 1), ilustrujący jak rozlatują się odłamki po takim wybuchu, który nastąpił po odskoku.

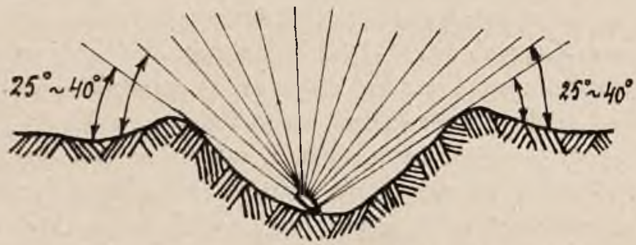


Rys. 1.

Ze szkicu tego widać wyraźnie, że odłamki, tworzące tylny stożek (a) oraz prawie połowa odłamków, tworzących stożki boczne (b) mogą razić cel.

Od pierwszych miesięcy wielkiej wojny artylerja francuska przekonała się o potrzebie zwiększenia skuteczności rażenia odłamkami granatów przy strzelaniu na dalsze odległości. Tu bowiem granaty, padając pod większym kątem nie odskakiwały, lecz zagłębiały się w ziemi. Nie mówiąc już o pociskach zaopatrzonych w zapalniki

ze zwłoką (z opóźniaczem), które po upadku na dalszych odległościach, zagłębiają się do ziemi tak głęboko, że po wybuchu tylko nieznacznie ją podnoszą, nie dając zupełnie odłamków nazewnątrz; nawet granaty z zapalnikami bez zwłoki (bez opóźniacza), padając na te same odległości rażą odłamkami znacznie mniej skutecznie niż przy upadku na bliskich i średnich odległościach. W tym wypadku bowiem granat, zagłębiając się do ziemi na 0,30 do 0,45 m przy wybuchu, tworzy lej taki, że większa ilość odłamków wyrzucana zostaje razem z ziemią do góry; dużo odłamków pozostaje w leju, i tylko niewielka ilość ich, która wyleciała z leja pod stosunkowo małym kątem (25° do 40°) do terenu, może razić skutecznie cel, znajdujący się stosunkowo blisko od leja (rys. 2).



Rys. 2.

Z zestawienia rys. 1 i rys. 2 jest jasne, że chcąc polepszyć działanie odłamkowe swoich granatów na dalszych odległościach, należało wywołać wybuch granatów nad ziemią lub też przy ziemi. Dla osiągnięcia tego były dwie drogi: 1) Wprowadzić do granatów zapalniki czasowe, podobne do tych, jakie używane są w szrapnelach. 2) Opracować specjalny zapalnik taki, aby wybuch granatu następował na powierzchni, bez zagłębiania się jego do ziemi. Rozwiązując powyższe zagadnienie, Francuzi poszli jednocześnie w obu oznaczonych wyżej kierunkach.

I. Dla granatów o cienkich ściankach i dużej ilości materjału wybuchowego wprowadzili oni zapalnik 24/31 detonujący o działaniu podwójnem wz. 1916 (spłonka o 2 gr piorunianu rtęci); zapalnik ten jest właściwie modyfikacją zapalnika podwójnego działania dla szrapneli, tylko że tu została dodana spłonka z 2 gr piorunianu rtęci.

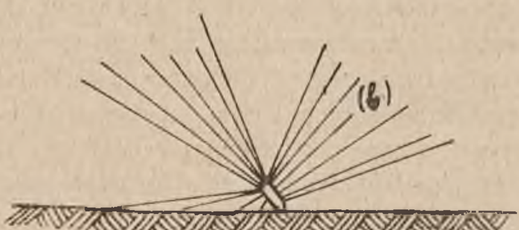
II. Wytrwale opracowywano nowy typ zapalnika uderzeniowego, umożliwiający wybuch granatu bez zagłębiania się do ziemi przy strzelaniu na dalsze odległości. Pracując w tym kierunku i ulepszając swoje nowo pomyślane typy, opracowano następujące zapalniki:

1) zapalnik I. (instantanée) wz. 1914 r.
2) „ I. A. (instantanée allongée) wz. 1915 r.
3) „ I. A. L. Lefèvre wz. 1916 r.
4) „ R. Y. wz. 1917 r.
5) „ R. Y. G. wz. 1918 r.

W swoich urzędowych przepisach, Francuzi opisują w sposób następujący, działanie pocisków z takiemi zapalnikami:

„Wybuch granatu na powierzchni ziemi otrzymujemy przy zastosowaniu zapalnika uderzeniowego *natychmiastowego*. Efekt wybuchu na powierzchni ziemi jest mniejszy w stosunku do efektu wybuchu w powietrzu. Wydłużone zapalniki natychmiastowe I. A. L. powodują wybuch granatu wcześniej niż on zagłębi się do ziemi, i dlatego pozwalają otrzymać bardziej skuteczne działanie odłamkami granatu; lecz i te zapalniki działają dobrze tylko przy kątach upadku granatów większych niż 12°. Gdy kąt upadku jest bardzo duży (haubice), to poprzeczny stożek (b) (rys. 1) odłamków daje maksymalny efekt. Pociski o zapalnikach natychmiastowych są bardzo skuteczne *przeciwko celom odsłoniętym*. Z takiem samem powodzeniem mogą one być użyte do niszczenia drutów kolczastych przed okopami przeciwnika. Działanie *gazami* jeszcze bardziej potęguje skutek rażenia odłamkami".

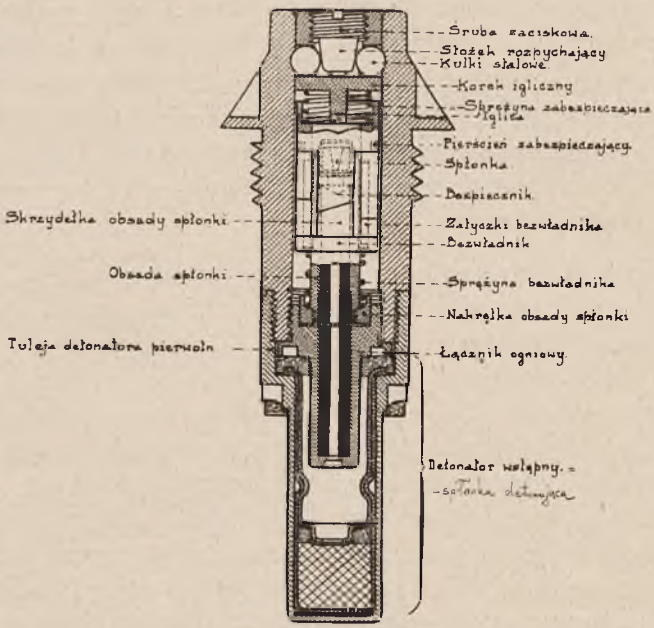
Powyższe rozwiązanie, dla lepszego unaocznienia przedstawione jest w szkicu (rys. 3), gdzie wykazany jest schemat rozlatywania się



Rys. 3.

odłamków pocisku przy zastosowaniu zapalników natychmiastowych. Ze szkicu tego widać wyraźnie, że cel może być dosięgnięty odłamkami ze stożka poprzecznego (b) nawet wówczas, gdy miejsce wybuchu pocisku będzie znacznie odległe od miejsca, w którem znajduje się cel. Zbadamy teraz, na czem polega główna korzyść użycia zapalników natychmiastowych: w ten sposób, przechodząc od jednego typu do drugiego, ustalimy drogą ewolucji konstrukcji tych zapalników. Na rys. 4. przedstawiony jest zapalnik typu I. wzoru 1914 roku.

Nie zatrzymując się na bardzo pomysłowem urządzeniu zabezpieczającem, które nie wpływa na szybkość działania zapalnika, wskazać należy na to, że tak jak i w zwykłych bezwładnikowych zapalnikach, tu również jest obsada spłonki zapalającej z osadzoną w niej spłonką oraz urządzenie bezwładnikowe, które uzbraja zapalnik w chwili strzału w lufie armaty. Uzbrojenie to następuje w ten sposób, że w chwili strzału całe urządzenie bezwładnikowe, ściskając sprężynę bezwładnika, cofa się wstecz i zatrzymuje się w tem położeniu aż do chwili, kiedy pocisk uderzy o przeszkodę. W chwili tego uderzenia,



Rys. 4.

gdy pocisk zmniejsza swoją szybkość, uzbrojona obsada spłonki zapalającej, wraz z całem urządzeniem bezwładnikowem wskutek bezwładności porusza się naprzód, aż do chwili, kiedy spłonka, nakłuwając się na iglicę spowoduje zapłon masy zapalającej. Wszystko to dzieje się zupełnie tak samo, jak w zwykłych dotychczasowych zapalnikach bezwładnikowych. W tym jednak zapalniku mamy jeszcze coś ponadto. Mianowicie iglica nie jest tu osadzona nieruchomo. Po uderzeniu pocisku o przeszkodę, górna część zapalnika za pośrednictwem kulek przesuwa iglicę w kierunku spłonki zapalającej. W ten sposób przyśpiesza się chwilę zetknięcia się iglicy ze spłonką, czyli chwilę zapłonu masy detonującej, a co zatem idzie, —

chwilę wybuchu pocisku. Jednak szybkość działania zapalnika I. wz. 1914 r. okazała się niedostateczna. Pociski z takiemi zapalnikami po wybuchu tworzyły lej, znacznie mniejszych coprawda wymiarów, lecz głębokość jego dochodziła do 30—35 cm, a dlatego też efekt rażenia odłamkami był znacznie mniejszy od efektu wywołanego pociskiem zaopatrzonym w zapalnik, który powodował wybuch na powierzchni ziemi.

Drugi typ natychmiastowego zapalnika, który był wprowadzony na uzbrojenie artylerji we Francji, mianowicie typ I. A. wz. 1915 r., już bardzo znacznie różni się co do konstrukcji od zwykłych zapalników bezwładnikowych. Przedewszystkiem wskutek znacznej długości tego zapalnika, wystaje on na 12 cm ponad górnem ścięciem oka granatu. Następnie, iglica, która u góry posiada kształt grzybka w chwili uderzenia pocisku o przeszkodę nakłuwa spłonkę zapalającą, przesuwając się do wnętrza zapalnika pod wpływem oporu przeszkody, której dosięgnął granat.

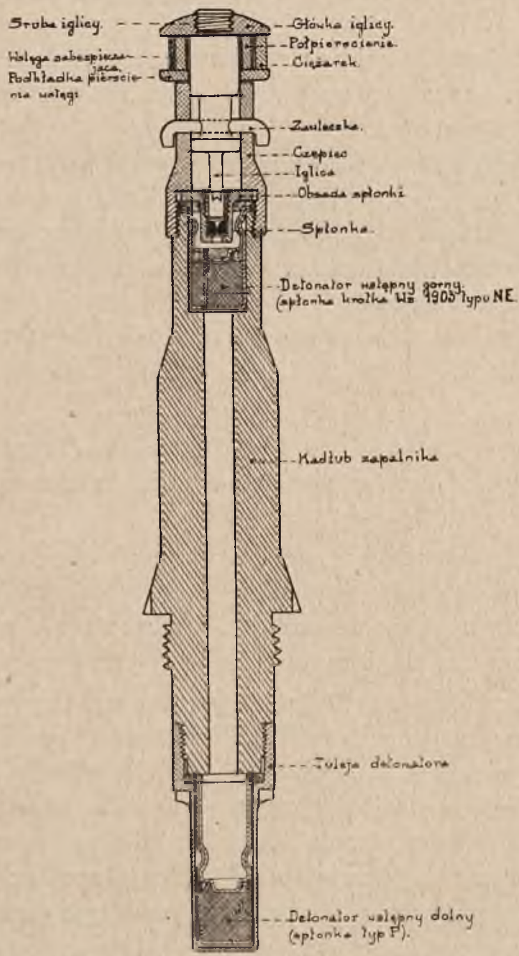
W położeniu normalnem, w czasie transportu, iglica utrzymywana jest dwoma półpierścieniami, które zzewnątrz owinięte są mosiężną taśmą z ciężarkiem na końcu. Kierunek owijania tej taśmy jest taki, że w czasie lotu pocisku, taśma ta rozwija się. Przed załadowaniem pocisku do komory nabojowej działa, należy zerwać kapturek z główki zapalnika. Po strzale w czasie lotu pocisku pod wpływem siły odśrodkowej, ciężarek rozkręca mosiężną taśmę. Gdy taśma zostanie zupełnie rozkręcona, wówczas pod wpływem tej samej siły odśrodkowej półpierścienie rozlecą się w bok. Od chwili tej iglica utrzymywana jest na miejscu tylko zawleczką; gdy pocisk uderzy o przeszkodę, zawleczka będzie ścięta i iglica nakłuje spłonkę zapalającą zapalnika. Płomień spłonki zapalającej zapala masę spłonki detonującej; za pośrednictwem materjału detonującego, energja detonacji przekazywana jest do ładunku wybuchowego granatu.

Zapalnik I. A. L. wz. 1916 r. (rys. 5), różni się od zapalnika I. A. wz. 1915 tylko tem, że w nim niema materjału detonującego. Tutaj od spłonki detonującej, detonacja przekazywana jest przez kanał do drugiej takiej samej *spłonki* detonującej. Porównywując między sobą zapalniki I. A. oraz I. A. L. można stwierdzić, że konstruktorzy francuscy dążyli do podniesienia punktu wybuchu pocisku w stosunku do ziemi:

1) Przez wysunięcie zapalnika przed pocisk, bowiem wydłużo-

ny zapalnik dotyka przeszkody znacznie wcześniej, niż krótki, i dlatego wybuch może odbyć się wcześniej.

2) Przez zmniejszenie siły potrzebnej do spowodowania zapalenia spłonki zapalającej. Siła ta wzrasta wraz z czasem, w ciągu którego pocisk ciśnie na przeszkodę. A więc im mniejsza siła jest po-



Rys. 5.

trzebna, tem po krótszym czasie nastąpi wybuch. Wyżej opisane zabezpieczające przyrządy, automatycznie usuwane w czasie lotu pocisku, umożliwiły pozostawienie tylko małej zawleczki ścinanej w chwili zetknięcia iglicy zapalnika z przeszkodą. Dla tego ścięcia potrzebna jest bardzo mała siła. W zapalniku zaś typu I wz. 1914 r.

(patrz rys. 4), korek musiał być osadzony mocno, bowiem w czasie strzału od dynamicznego nacisku gazów, korek ten mógłby cofnąć się do wnętrza zapalnika i w ten sposób iglica zbliżyłaby się do spłonki zapalającej, a co zatem idzie mogłyby nastąpić przedwczesne wybuchy w lufie działa.

Efekt działania granatów, zaopatrzonych w zapalniki I. A. L. wz. 1916 jest taki, że przy strzale lejów nie otrzymuje się. W miejscu wybuchu powstaje tylko wgniatanie ziemi na głębokość około 15 cm; wgniatanie to pochodzi od działania gazów zdetonowanego materjału, zawartego w granacie.

W ten sposób można powiedzieć, że przez wprowadzenie zapalników natychmiastowych wydłużonych I. A. L. kwestja spowodowania wybuchu granatu na powierzchni ziemi (bez zagłębiania się), przy dużych kątach padania, a więc na wielkich odległościach, została pomyślnie rozwiązana.

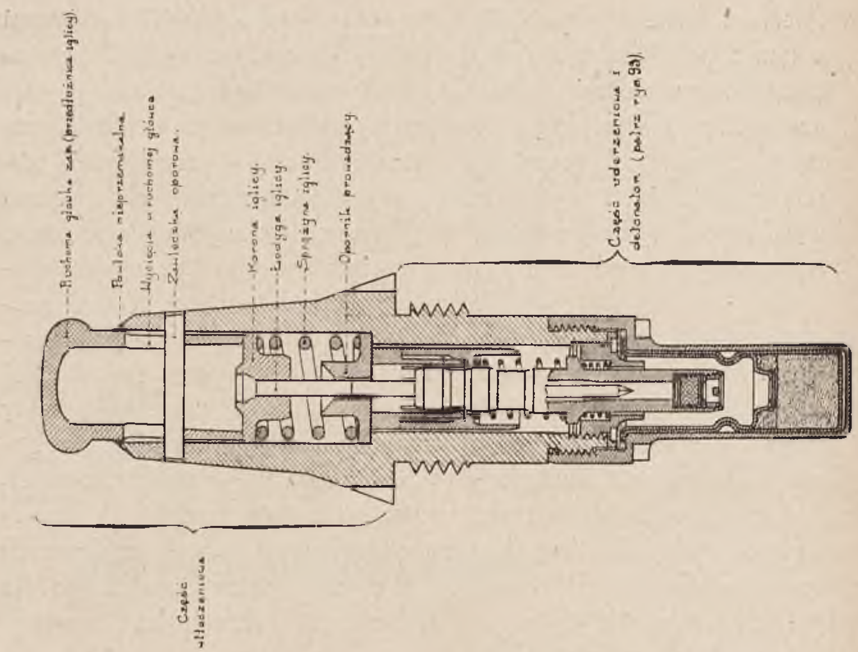
Czwarty typ natychmiastowego zapalnika uderzeniowego, mianowicie zapalnik R. Y. wz. 1917 i R. Y. G. wz. 1918, wskazany jest na rys. 6 i 7.

Z rysunków tych widać, że część zapalnika tego, wystająca ponad głowicę pocisku jest prawie dwukrotnie mniejszą niż w zapalniku IA lub IAL.

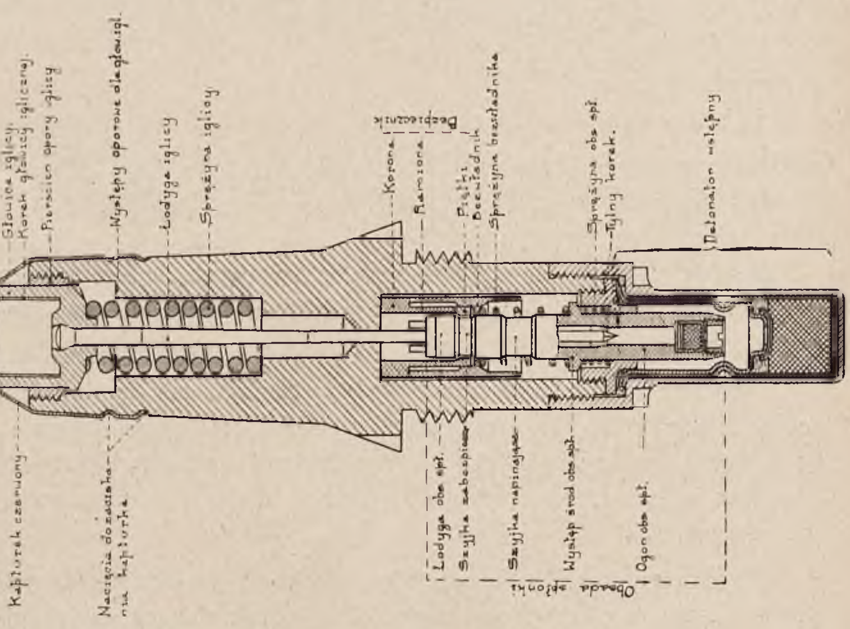
Z dużem prawdopodobieństwem przypuszczać można, że wystająca ponad głowicę część zapalnika niekorzystnie wpływa na własności balistyczne pocisku, na celność, donośność i t. p. i ten wpływ jest tym większy im większą jest część wystająca.

W zapalniku RY wz. 1917 ruch iglicy wraz z jej obsadą w kierunku kapiszona jest jeszcze bardziej ułatwiony przez to, że zamiast zawleczki, jak to jest w zapalnikach IA i IAL, obsada iglicy z iglicą, utrzymywana jest w swojem górnem położeniu przez sprężynę śrubową: sprężyna ta przy strzale ściska się; dlatego więc, aby nie nastąpiło przedwczesne nakłucie spłonki zapalającej na iglicę, obsada spłonki zapalającej wraz z kapiszonem, przesuwa się do swego górnego położenia, dopiero po wylocie pocisku z lufy działa. Porównywując rysunki zapalników IAL i RY można stwierdzić, że te ostatnie są lepsze od zapalników IAL, dlatego, że są bardziej czułe — wobec tego zaś, że posiadają tylko jedną *spłonkę* detonującą, są bezpieczniejsze w transporcie i co do przedwczesnych wybuchów.

Niemcy, po zapoznaniu się z natychmiastowemi zapalnikami francuskiemi i po sprawdzeniu ich działania bezpośrednio na sobie, uznali za bardzo wskazane zastosowanie takich zapalników w swej ar-


Ruchoma główka zab. (przedłużnica iglicy)
Wycięcia w ruchomej główce
Zawleczka oporowa
Korona iglicy
Łodyga iglicy
Sprężyna iglicy
Opornik prowadzący
Część uderzeniowa i detonator (patrz rys 93)

Rys. 7.


Kapturek czerwony
Główka iglicy
Korek główki iglicznej
Pierścień opory iglicy
Występy oporowe dla główki igl.
Łodyga iglicy
Sprężyna iglicy
Bezpiecznik
Korona
Ramiona
Piętki
Bezwładnik
Sprężyna bezwładnika
Sprężyna obs. spł.
Tylny korek.
Łodyga obs. spł.
Szyjka zabezpieczająca
Szyjka napinająca
Ogon obs. spł.
Obsada spłonki

Rys. 6.

tylerji, i wówczas wprowadzili na uzbrojenie nowy 77 mm granat z tym zapalnikiem dla strzelania na wielkie odległości. Coprawda potrzeba wprowadzenia takich zapalników u Niemców nie była bardzo wielka, bowiem od początku wojny posiadano tam zapalnik czasowy, używany dla granatów, a więc mieli oni — przynajmniej teoretycznie—możność wywoływania wybuchów granatów na dowolnej wysokości. Jednak posiadanie zapalników czasowych, jak praktyka wykazała nie usuwa konieczności posiadania zapalników uderzeniowych — natychmiastowych. Przy strzelaniu bowiem na dalsze odległości granatami z zapalnikami czasowemi, wskutek wielkiego rozsiewu (niejednakowego czasu palenia przy tem samem nastawieniu) zapalników, normalne i niskie wybuchy stanowią stosunkowo mały procent i dlatego skuteczność strzelania maleje. Natomiast strzelanie granatami z zapalnikami uderzeniowemi — natychmiastowemi jest bez porównania bardziej skuteczne z tego powodu, że prawie wszystkie wybuchy są niskie. To zapewne jest jednym z głównych powodów dlaczego Francuzi, jak również i Niemcy, posiadając dla granatów zapalniki czasowe, wprowadzili dla nich jeszcze zapalniki uderzeniowe-natychmiastowe.

Nie posiadam rysunku niemieckiego zapalnika uderzeniowego-natychmiastowego; z oglądanych odłamków pocisków, zaopatrzonych takiemi zapalnikami można domyślić się, że pociski te zaopatrzone są w czepek, polepszający własności balistyczne granatu. Na górnym płasku tego kapturka widać „guziczek", który jest główką zapalnika natychmiastowego.

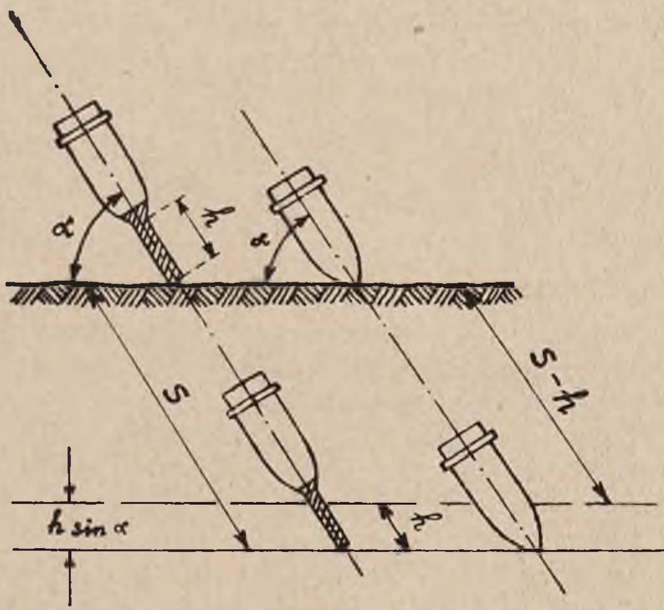
Sądzić należy, że z racjonalną konstrukcją tego zapalnika Niemcy dali sobie radę, bowiem ich zapalniki natychmiastowe do bomb aeroplanowych działają bez zarzutu, wywołując wybuch bomby na powierzchni ziemi.

Mówiąc o użyciu zapalników natychmiastowych, będzie bardzo pożytecznem wyjaśnić z teoretycznego punktu widzenia, na czem polegają ich zalety oraz od czego zależy szybkość ich działania.

Wysuwanie zapalnika przed głowicę pocisku ma tę dodatnią cechę, że pocisk z takim zapalnikiem wcześniej dotyka ziemi i dlatego wcześniej wybucha, niż pocisk bez takiego zapalnika, lecz zato z punktu widzenia balistycznego — posiada i ujemną cechę, wyżej już omówioną.

Wyobraźmy sobie dwa zupełnie *jednakowe* pociski, które upadły na ziemię w *równych* warunkach z tą jednak różnicą, że w jed-

nym z nich zapalnik wystaje ponad głowicę pocisku o długości *h* więcej niż w drugim, przyczem obydwa zapalniki są jednakowej konstrukcji. Zapalniki te zaczynają działać od chwili zetknięcia się ich z ziemią. Wobec poczynionych wyżej założeń, szybkości przy upadku tych obu pocisków oraz czas działania tych zapalników są równe, wobec czego oba pociski wybuchną po przejściu tej samej drogi *S*, mierzonej wzdłuż toru pocisków. Z rysunku (rys. 8) widać, że po-

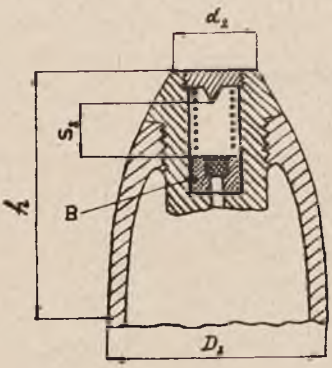


Rys. 8.

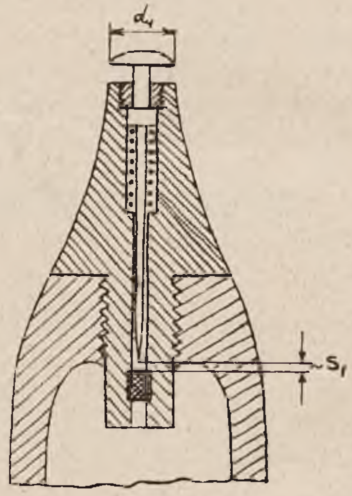
cisk z więcej wystającym zapalnikiem zagłębi się w ziemię o wielkość *h* mniejszą, niż pocisk drugi, lub też o $h \sin \alpha$ jeśli będziemy rozważali to zjawisko z punktu widzenia ***wysokości*** wybuchu. Ze wzoru tego widać, że wysuwanie zapalnika jest pożyteczne tylko przy dużych kątach α t. j. przy strzelaniu na większe odległości, a to dlatego, że $\sin \alpha$ wzrasta wraz z kątem α. Przy małych wartościach tego kąta $\sin \alpha$ także jest małe i cały wyraz $h \sin \alpha$ jest również mały, skąd wynika, że wysuwanie zapalnika przed głowicę pocisku przy strzelaniu na małe odległości przyczynia się bardzo mało do podniesienia wysokości wybuchu pocisku.

Wiadomem jest z praktyki, że przy upadku pod kątem około 30° pociski zaopatrzone w zapalniki nienatychmiastowe (takie naprzykład, jak zapalniki o działaniu podwójnem wz. 14, stosowane do 10 cm

austrjackich granato - szrapneli), powodują wybuch granatu na głębokości około 45 cm. Gdyby nie zmieniając systemu tego zapalnika, dla przyśpieszenia jego działania, umocować do niego trzpień długości 12 cm (t. j. o długości takiej, jak zapalnik IA), to wybuch granatu otrzymalibyśmy tylko o 12 sin 30°=6 cm wyżej, t. j. na głębokości 45—6=39 cm pod ziemią. W ten sposób skuteczność rażenia odłamkami wzrosłaby bardzo nieznacznie. Z rozważań powyższych widać, że przyczyna szybkości działania zapalników natychmiastowych leży *nie tyle w wysuwaniu* ich przed głowicę pocisku, ile we współpracy wewnętrznych części składowych.



Rys. 9.



Rys. 10.

Z przytoczonych rysunków zapalników natychmiastowych widać, że wyróżniającą cechą ich jest to, iż przy dotknięciu przeszkody, tłoczek i iglica tych zapalników, dążą w kierunku spłonki zapalającej z szybkością taką, jaką posiada pocisk przy dotknięciu tej przeszkody. W zwykłych zaś zapalnikach przy zetknięciu się pocisku z przeszkodą, spłonka zapalająca dąży do iglicy lub odwrotnie pod wpływem siły bezwładności, która powstaje w chwili zmniejszania przez pocisk jego końcowej szybkości. Dlatego też zapalniki natychmiastowe możnaby nazwać *wtłoczeniowemi* w odróżnieniu od zapalników *bezwładnikowych* zwykłych, nienatychmiastowych.

Schematycznie zapalniki typu wtłoczeniowego przedstawione są na rys. 9, zaś typu bezwładnikowego na rys. 10.

Rozważymy teraz, ile czasu potrzeba dla tego, aby spłonka zapalająca dotknęła się ostrza iglicy w chwili uderzenia o przeszkodę

pocisków zaopatrzonych w zapalniki obu powyższych typów. Nie będziemy przytem brali pod uwagę czasu potrzebnego na zapalenie się oraz czasu potrzebnego na przekazanie wybuchu spłonki zapalającej dalej do wnętrza pocisku.

Założymy że:

1) Opór przeszkody (ziemi) przeciw przenikaniu pocisku jest stały i wynosi αR. We wzorze tym α jest spółczynnikiem, charakteryzującym kształt pocisku i wykazuje zdolność przenikania tego kształtu do wewnątrz przeszkody; spółczynnik ten wzrasta wraz ze wzrostem zaokrąglenia głowicy i maleje wraz ze wzrostem zaostrzenia głowicy. Wartość R wyraża się w kg cm² przekroju poprzecznego ciała przenikającego. Jeśli dla pewnego zaostrzenia głowicy spółczynnik $\alpha = 1$, to wówczas R kg/cm² wyraża opór przeszkody na jednostkę przekroju poprzecznego przenikającego pocisku.

2) Ruch pocisku w ciągu krótkiego czasu, podczas którego dokonywujemy badania odbywa się po linji prostej, ułożonej wzdłuż osi geometrycznej pocisku; nie weźmiemy pod uwagę ruchów obrotowych wzdłuż osi, nie zlewających się z osią geometryczną pocisku.

3) Opór sprężyn iglicy oraz wszelkie tarcia przy ruchu tłoczka i iglicy, są tak małe w stosunku do siły jaką rozwija pocisk w chwili uderzenia o przeszkodę, że nie bierzemy tych wartości pod uwagę.

Biorąc pod uwagę zapalniki wtłoczeniowe i *zakładając*, że praca ich po uderzeniu o przeszkodę odbywa się tylko według schematu rys. 9, można stwierdzić, że na główkę zapalnika działa stała siła $P_1 = \alpha_1 R_1 \frac{\pi d^2}{4}$. We wzorze tym wartości α_1 i R_1 wyznaczone są w przytoczonem wyżej założeniu 1-szem, zaś d_1 oznacza średnicę główki zapalnika (rys. 9).

Pod wpływem tej siły główka zapalnika będzie poruszała się w kierunku spłonki zapalającej z przyśpieszeniem $p_1 = \frac{P_1}{m_1}$ gdzie m_1 — oznacza masę główki oraz wszystkich części razem z nią poruszających się, $m_1 = \frac{C_1}{g}$ gdzie C_1 oznacza ciężar tych poruszających się części, zaś g — przyśpieszenie ziemskie.

Ostatecznie $p_1 = \frac{P_1}{m_1} = \frac{\alpha_1 R_1 \pi d_1^2 g}{4 C_1}$

Ze wzoru $S_1 = \frac{p_1 t_1^2}{2}$ na ruch jednostajnie przyśpieszony możemy

obliczyć czas potrzebny na zbliżenie iglicy do spłonki zapalającej o wielkości S_1 (patrz rys. 9).

$$t_1 = \sqrt{\frac{2\,S_1}{P_1}} = \sqrt{\frac{8\,S_1\,C_1}{\alpha_1\,R_1\,\pi\,d_1^2\,g}}$$

Z tego ostatniego wzoru widać, że dla skrócenia czasu działania zapalników wtłoczeniowych należy:

1) zmniejszyć odległość S_1 pomiędzy ostrzem iglicy i spłonki zapalającej;

2) zmniejszyć ciężar C_1 główki[1]) zapalnika oraz wszystkich części poruszających się razem z nią, gdy pocisk dotknął przeszkody (obsada iglicy, iglica i t. p.);

3) zwiększyć α_1 t. j. „przytępić" główkę zapalnika, robiąc ją prawie płaską (zapalnik R. Y. G. wz. 1918);

4) zwiększyć d_1, t. j. średnicę główki (w zapalnikach IA i IAL główki mają postać grzyba).

Przejdziemy teraz do określenia czasu działania zapalników bezwładnikowych, których schemat konstrukcji wskazany jest na rys. 10.

Po uderzeniu pocisku z takim zapalnikiem o przeszkodę, na główkę zapalnika zaczyna działać reakcja, której wielkość wynosi:

$P_2 = \alpha_2\,R_2\,\frac{\pi\,d_2^2}{4}$; we wzorze tym wartości α_2 i R_2 wyznaczone są w przytoczonem wyżej założeniu 1-szem, zaś wartość d_2 oznaczona jest na rys. 10. Pod wpływem tej siły (P_2) pocisk będzie przenikał do przeszkody ruchem jednostajnie opóźnionym, przyczem przyśpieszenie będzie wynosiło $p_2 = \frac{P_2}{m_2}$, gdzie m_2 — oznacza masę przenikającego pocisku; $m_2 = \frac{C_2}{g}$, gdzie C_2 — znacza ciężar przenikającego pocisku, zaś g — przyśpieszenie ziemskie.

Gdy pocisk zanurzy się do ziemi na głębokość h wówczas ostatecznie:

$$p_2 = \frac{P_2}{m_2} = \frac{\alpha_2\,R_2\,\pi\,D_2^2\,g}{4\,C_2}$$

---

[1]) Tam gdzie mowa o zapalnikach IA i IAL część ta musi być nazywana: „nakrętka obsady iglicy".

Tam gdzie mowa o zapalnikach RY i RYG część ta musi być nazywana „tłoczek".

i jest skierowane w stronę przeciwną w stosunku do szybkości pocisku. Jednocześnie z tem spłonka zapalająca wraz ze swoją obsadą B (rys. 10) wewnątrz zapalnika zaczyna poruszać się z tem samem przyśpieszeniem p_2, lecz skierowanem w stronę iglicy. Czas w ciągu którego spłonka zapalająca ze swoją obsadą *B* przejdzie odległość S_2 (rys. 10), dzielącą ją od ostrza iglicy wynosi

$$t_2 = \sqrt{\frac{8\, S_2\, C_2}{\alpha_2\, R_2\, \pi\, D_2^2\, g}}$$

Ze wzoru tego widać, że dla zmniejszenia czasu działania zapalników bezwładnikowych, mamy tylko jeden najskuteczniejszy środek, mianowicie zmniejszyć odległość S_2 spłonki zapalającej od iglicy. Lecz minimalna odległość S_2 uwarunkowana jest względami bezpieczeństwa i przekroczenie tego bezpiecznego minimum może spowodować wybuch w lufie.

Wobec tego, że ciężar pocisku jest proporcjonalny do D_2^3 czyli, że $C_2 = \beta D_2^3$ gdzie β oznacza spółczynnik proporcjonalności, możemy do wzoru na t podstawić powyższą wartość C_2 i wówczas otrzymamy: $t_2 = \sqrt{\frac{8\, S_2\, \beta\, D_2}{\alpha_2 R_2\, \pi\, g}}$ Z tego ostatniego wzoru widać, że czas działania zapalnika wzrasta wraz ze wzrostem kalibru pocisku. Ten sam zapalnik wkręcony do pocisku małego kalibru będzie działał szybciej, niż wówczas, gdyby był wkręcony do pocisku dużego kalibru. Ze wzoru tego widać również, że czas działania zapalnika bezwładnikowego zależny jest od kształtu głowicy pocisku, w mianowniku bowiem mamy spółczynnik α_2 zdolności przenikania. Wynika stąd, że jeśli pocisk ma kształt bardziej ostrołukowy, jak np. granat francuski 75 mm wz. 1917 roku, to zapalnik będzie działał wolniej niż przy kształtach głowicy mniej śpiczastej, jak np. w granatach francuskich wz. 1900 *N*, a więc zwiększając kaliber i ostrołukowość głowicy zauważymy, że pociski te zaopatrzone w zapalniki bezwładnikowe będą wybuchały coraz głębiej pod powierzchnią ziemi.

Ażeby dokładnie zdać sobie sprawę z tego o ile prędzej zapalniki wtłoczeniowe działają od zapalników bezwładnikowych przy strzelaniu w tym samym terenie, t. j. gdy $R_1 = R_2$, weźmiemy stosunek czasów ich działania

$$\frac{t_2}{t_1} = \frac{d_1}{D_2}\sqrt{\frac{S_2}{S_1} \cdot \frac{C_2}{C_1} \cdot \frac{\alpha_1}{\alpha_2}}$$

załóżmy, że strzelamy granatami kalibru 75 mm, na tę samą odleg-

łość, z tą tylko różnicą, że jeden z nich posiadać będzie zapalnik typu francuskiego RYG wz. 1918, drugi zaś typu austrjackiego o działaniu podwójnem wz. 14. Liczbowe wartości dla tych zapalników i granatów są następujące: $d_1 = 13\ mm$ $D_2 = 75\ mm$ $S_1 = 3\ mm$; $S_2 = 28\ mm$; $C_1 = 12\ gr$; $C_2 = 6{,}4\ kg$; $\frac{\alpha_1}{\alpha_2} \simeq 1{,}4$. Podstawiając te liczby do powyższego wzoru otrzymamy, że

$$\frac{t_2}{t_1} = \frac{1{,}3}{7{,}5}\sqrt{\frac{2{,}8}{0{,}3} \cdot \frac{6{,}4}{0{,}012}} \cdot 1{,}4 \simeq 14{,}5$$

czyli, że zapalnik wtłoczeniowy wybuchnie 14,5 razy prędzej od zapalnika bezwładnikowego. Różnica ta byłaby jeszcze większa, gdyby do obliczeń wzięto kalibry pocisków większych.

Pamiętać jednak należy zawsze, że zapalniki natychmiastowe muszą być używane tylko wówczas, gdy chodzi o wywołanie wybuchu granatu na powierzchni ziemi, szczególnie przy strzelaniu na dalsze odległości. Gdyby do niszczenia umocnień polowych przeciwnika użyto granatów z zapalnikami natychmiastowemi, popełnionoby wielki błąd; należy tu zastosować „zwłokę" (lub zapalnik bezwładnikowy), bowiem granat musi wybuchnąć po zagłębieniu się do ziemi.

Pomimo to, że francuskie zapalniki natychmiastowe dały się dobrze we znaki wojskom nieprzyjacielskim, Francuzi mieli stałe przykrości z powodu przedwczesnych wybuchów pocisków w lufach. Działo się to wskutek tego, że zapalniki te *nie posiadały urządzeń zabezpieczających od przedwczesnego wybuchu*. Pomimo to jednak podziwu godnym jest genjusz wojskowej techniki francuskiej, która potrafiła w *czasie właściwym* zadanie rozwiązać w sposób zadawalający.

pułkownik w st. sp. Inż. SZNAJDER RYSZARD

OCENA MATERJAŁÓW WYBUCHOWYCH DLA CELÓW WOJSKOWYCH.

Poglądy na materjały wybuchowe stosowane do celów wojskowych, zarówno jak i odnośne wymagania techniczne uległy podczas ostatnich 15 lat, a w szczególności podczas wojny światowej niejednokrotnym zmianom.

Przed wojną decydowała dla wyboru materjału wybuchowego w pierwszym rzędzie jego siła krusząca, miażdżąca. Ponieważ poza heksanitrodwufenilaminą i nitrogliceryną, kwas pikrynowy posiada największą siłę kruszącą, zastosowano go przeważnie jako materjał wybuchowy do napełniania granatów działowych, do amunicji saperskiej i t. d., pod rozmaitemi nazwami, jak nprz.: „Melinit" we Francji, „Lyddit" w Anglji, „Perlit" we Włoszech, „Grf. 88" w Niemczech, „Dunit" i „Manimit" w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej, „Ekrasit" w Austrji, „Shimosa" w Japonji i t. p. Miny morskie i torpedy, miały ładunki wybuchowe przeważnie z prasowanej bawełny strzelniczej. Dopiero w ostatnich latach przed wojną zaczęto stosować trójnitrotoluol; a ogólne jego użycie na wielką skalę spowodowała dopiero wojna światowa. W Anglji n. p. trójnitrotoluol przed wojną nie był jeszcze stosowany. Stany Zjednoczone Ameryki Północnej przed samą wojną zdecydowały się na zastosowanie trójnitrotoluolu „T. N. T." do min morskich i torped; również i we Francji zastosowano „Tolite" przed wojną w małym jednak zakresie. Tylko we Włoszech, w Niemczech i w Rosji przystąpiono już na kilka lat przed wojną do zastosowania trójnitrotoluolu pod nazwą „Tritolo", „Fp. 02" wzgl. „trotyl" do napełniania granatów, min morskich i torped.

Nadzwyczaj szybki rozwój artylerji, tak pod względem kalibrów, jak i donośności, wymagał kategorycznie amunicji bezpiecznej przy

strzelaniu; zwiększenie szybkości początkowej pocisków wymagało bowiem powiększenia odporności, niewrażliwości materjału wybuchowego na uderzenie, aby uniknąć przedwczesnych wybuchów w lufach armatnich. Zapotrzebowanie powyższych materjałów wybuchowych, które przekroczyło wszelkie przewidywania i spowodowało brak odpowiednich surowców, zmusiło do zastosowania innych materjałów wybuchowych, jednolitych lub mieszanych, wymagających przeważnie silniejszych pobudzaczy (detonatorów). W ten sposób powstał cały szereg najrozmaitszych materjałów wybuchowych, jak np.: dwunitrobenzol, trójnitrobenzol, dwunitrotoluol, nitronaftalina, dwunitronaftalina, trójnitronaftalina, trójnitrokrezol, trójnitroanizol, trójniroksylol, heksanitrodwufenyl, amina i t. p., zastosowanych w różnorodnych mieszaninach. Zrozumiałem jest, że wybór ostateczny nie zawsze był zależny od własności fizycznych danych materjałów wybuchowych, lecz nieraz uzależniony był od względów gospodarczych, posiadanych surowców, zużycia kwasów (zwłaszcza azotowego) i t. p.

Wobec coraz większego braku surowców do wyrobu nitrozwiązków aromatycznych nastąpiło coraz szersze zastosowanie materjałów zastępczych w rodzaju azotanu amonu, chloranów i nadchloranów. W ten sposób powstały materjały wybuchowe np.: amatol $^{40}/_{60}$ i $^{80}/_{20}$ jako mieszaniny trójnitrotoluolu z azotanem amonu, szereg szedytów jako mieszaniny chloranu lub nadchloranu potasu względnie amonu z nitrozwiązkami, parafiną i t. d.

Jednakowoż materjały wybuchowe zastępcze z szeregu powyżej wymienionych, chociaż były w użyciu zupełnie bezpieczne nie dawały zawsze żądanego efektu wybuchowego z powodu nie wystarczającego ciśnienia właściwego gazów wybuchowych. W celu powiększenia siły kruszącej do tych mieszanin dodawano glinu metalicznego. W ten sposób powstały we wszystkich państwach t. zw. amonale, alumatole, nitramity, sabulity i t. p., które zastosowano do napełniania granatów działowych nawet wielkich kalibrów, bomb lotniczych, min lądowych i morskich oraz torped.

Powstałe i używane podczas wojny światowej materjały wybuchowe umieszczone są w poniżej podanem zestawieniu, które — mimo to, że może nie jest zupełnie kompletne — daje pojęcie o ich różnorodności.

Dla lepszej orjentacji i uzupełnienia oceny poszczególnych materjałów wybuchowych podano w rubryce ostatniej zastosowanie tych, ze skrótami następującemi:

M. m. . . . . . miny morskie,
M. l. . . . . . miny lądowe,
T. . . . . . . torpedy
G. . . . . . . granaty
G. p. . . . . . granaty pancerne
G. r. . . . . . granaty ręczne, lub karabinowe, lub trzonowe,
B. l. . . . . . bomby lotnicze,
M. d. m. . . . miny dla miotaczy,
A. s. . . . . . amunicja saperska.

L. p.	Państwa	Materjały wybuchowe	Skład chemiczny		Zastosowanie
1	Stany Zjednoczone Ameryki Północnej U. S. A.	Bawełna strzelnicza	nitroceluloza sprasowana	13% N	M. m. — T.
2		Maximit	kwasu pikrynowego	90%	G.—A. s.
			nitronaftaliny	10%	
3		Dunnit	kwasu pikrynowego	87%	G.—G. p.
			dwunitrobenzolu	10%	
			wazeliny	3%	
4		T. N. T.	trójnitrotoluolu	100%	G.--T.--M.m.
5		Amatol $^{40}/_{60}$	trójnitrotoluolu	60%	G.—M.d.m.—B. l.
			azotanu amonu	40%	
6		Amatol $^{80}/_{20}$	trójnitrotoluolu	20%	G.—M.d.m.—B. l.
			azotanu amonu	80%	
7		T. N. K.	trójnitrotoluolu	?	G.
			nitroksylolu	?	
8		Bawełna strzelnicza	nitroceluloza sprasowana	13% N	M. m.—T.
9		Tonit	nitrocelulozy	51%	A. s.
			azotanu baru	49%	
10		Sengit	nitrocelulozy	51%	A. s.—M. l.
			azotanu sodowego	49%	
11		żelatyna wybuchowa	nitrogliceryny	94%	A. s.
			bawełny kolodjonowej	6%	

L. p.	Państwa	Materjały wybuchowe	Skład chemiczny		Zastosowanie
12		Lyddit	kwasu pikrynowego	87%	G.—G. p.
			dwunitrobenzolu	10%	
			wazeliny	3%	
13		T. N. T.	trójnitrotoluolu	100%	G.—T.
14			trójnitrotoluolu	50%	G. r.
			azotanu baru	50%	
15		Amatol 40/60	trójnitrotoluolu	60%	G.
			azotanu amonu	40%	
16		Amatol 80/20	trójnitrotoluolu	20%	G.
			azotanu amonu	80%	
17	Anglja	Sabulit	azotanu amonu	78,2%	M. d. m.—B. l.
			trójnitrotoluolu	8%	
			krzemianu wapnia	13,8%	
18		Military amonal	azotanu amonu	65%	G.—G.p.—B. l.
			trójnitrotoluolu	15%	
			glinu metalicznego	17%	
			węgla drzewnego	3%	
19		Alumatol	azotanu amonu	80%	G.—G. p.—B.l.
			trójnitrotoluolu	17%	
			glinu metalicznego	3%	
20		Blastin	nadchloranu amonu	90%	G.r.— M. d. m.
			parafiny	10%	
21		Bawełna strzelnicza	nitroceluloza sprasowana	13% N	M. m. — T.
22		Żelatyna wybuchowa	nitrogliceryny	93%	A. s.
			bawełny kolodjonowej	7%	
23		Ekrasit	kwasu pikrynowego	90%	A. s.—G.
			nitronaftaliny	10%	

L. p.	Państwa	Materjały wybuchowe	Skład chemiczny		Zastosowanie
24	Austrja	Trotyl	trójnitrotoluolu	100%	G.—T.
25		Dynammon I	azotanu amonu węgla drzewnego trójnitrotoluolu	82,3% 2,9% 14,8%	G. r.—M. l. M. d. m.
26		Dynammon M.	azotanu amonu węgla drzewnego trójnitrotoluolu mononitrotoluolu	86% 4% 5% 5%	G.r. — M. l. — M.d.m.
27		Amonal I	azotanu amonu trójnitrotoluolu glinu metalicznego węgla drzewnego brun.	46% 30% 22% 2%	G.—G. p.—T. B.l. M.d.m.
28		Amonal II	azotanu amonu trójnitrotoluolu glinu metalicznego węgla drzewnego brun.	32% 50% 16,5% 1,5%	G.—G. p.—T. B.l.M.d.m.
29	Belgja	Bawełna strzelnicza	nitroceluloza sprasowana	13% N	M. m.—T.
30		Tonit	nitrocelulozy azotanu baru azotanu potasu	50% 37,5% 12,5%	A. s.
31		Melinit	kwasu pikrynowego nitronaftaliny	70% 30%	G.—A. s.
32		Macarit	trójnitrotoluolu azotanu ołowiu	28,1% 71,9%	M. d. m.
33		T. N. T.	trójnitrotoluolu	100%	G.—T.

L. p.	Państwa	Materjały wybuchowe	Skład chemiczny		Zastosowanie
34		Melinit	kwasu pikrynowego	88%	G.
			parafiny	12%	
35		Ekrasit	kwasu pikrynowego	88%	G.—A. s.
			nitronaftaliny	12%	
36	Bułgarja	T. N. T.	trójnitrotoluolu	100%	M. m.—T.—G.
37		Amonal	azotanu amonu	46%	G.—G. p.—B.l.
			trójnitrotoluolu	30%	
			glinu metalicznego	22%	
			węgla drzewnego	2%	
38		Bawełna strzelnicza	nitroceluloza sprasowana	13% N	M. m. — T.
39		Melinit D	kwasu pikrynowego	100%	A. s.
40		Melinit M. P.	kwasu pikrynowego	88%	G.
			parafiny	12%	
41		Melinit M. M. N.	kwasu pikrynowego	70%	G.—G. p.
			nitronaftaliny	30%	
42	Francja	Melinit M. D. N. 60/40	kwasu pikrynowego	60%	G.—B. l.
			dwunitronaftaliny	40%	
43		Melinit M. D. P. C.	kwasu pikrynowego	55%	G. — B. l. — M.d.m.
			dwunitrofenolu	35%	
			trójnitrokrezolu	10%	
44		Melinit M. T. T. C.	kwasu pikrynowego	55%	G. — B. l. — M.d.m.
			trójnitrotoluolu	35%	
			trójnitrokrezolu	10%	
45		Crésylite 60/40	trójnitrokrezolu	60%	G.
			kwasu pikrynowego	40%	

L. p.	Państwa	Materjały wybuchowe	Skład chemiczny		Zastosowanie
46	Francja	Schneidérite	azotanu amonu dwunitronaftaliny	87,5% 12,5%	G.
47		Nitramit	azotanu amonu stearyny glinu metalicznego	86% 6% 8%	G. — B. l. — M. d. m.
48		Amonal	azotanu amonu trójnitrotoluolu węgla drzewnego glinu metalicznego	65% 15% 10% 10%	G. — B. l.
49		Minélite	chloranu potasu parafiny	85% 15%	G. r. — M. d. m.
50		Szedyt	chloranu potasu dwunitrotoluolu nitronaftaliny oleju rycynowego	80% 15% 1% 4%	G. r. — M. d. m.—B. l.
51		Tolite	trójnitrotoluolu	100%	G.— M. m.— T.
52		Szedyt B.	nadchloramu amonu dwunitrotoluolu oleju rycynowego	82% 12% 6%	G. r. — M. d. m.
53		Szedyt P.	nadchloranu amonu azotanu sodu parafiny	61.5% 30% 8,5%	G. r. — M. d. m. — B. l.
54		Blastin	nadchloranu amonu parafiny	90% 10%	G. r. — M. d. m.

L. p.	Państwa	Materjały wybuchowe	Skład chemiczny		Zastosowanie
55		Bawełna strzelnicza	nitroceluloza sprasowana	13% N	M. m. — T.
56		Żelatyna wybuchowa	nitrogliceryny	91,5%	A. s.
			bawełny kolodjonowej	8%	
			kredy	0,5%	
57		Grf. 88	kwasu pikrynowego	100%	A. s. — G.
58		Fp. 02	trójnitrotoluolu	100%	G. — T.
59		Tri — Trinal	trójnitrotoluolu	66%	G.
			trójnitronaftaliny	34%	
60			trójnitrotoluolu	35%	B. l.
			heksanitrodwufenylaminy	65%	
61		Nitrolit	trójnitroanizolu	35%	G. — M. d. m.
			azotanu amonu	65%	
62	Niemcy	Di. Fp.	trójnitrotoluolu	30%	G. — B. l.
			dwunitrobenzolu	30%	
			azotanu amonu	40%	
63		Minensprengstoff	nadchloranu potasu	56%	M. d. m. — M. l.
			dwunitrobenzolu	32%	
			dwunitronaftaliny	12%	
64		Perdyt	azotanu amonu	72%	M. d. m. — M l.
			trójnitrotoluolu	8,3%	
			dwunitrotoluolu	6,7%	
			mączki drzewnej	3%	
			nadchloranu potasu	10%	
65		Fp. $^{60}/_{40}$	trójnitrotoluolu	60%	G.
			azotanu amonu	40%	

L. p.	Państwa	Materjały wybuchowe	Skład chemiczny		Zastosowanie
66	Niemcy	Amonal I.	azotanu amonu trójnitrotoluolu glinu metalicznego	54% 30% 16%	G. — T.
67		Amonal II.	azotanu amonu trójn itrotoluolu glinu metalicznego	72% 12% 16%	G. — B. l.
68		Mischpulver	prochu czarnego nadchloranu potasu glinu metalicznego	83% 12% 5%	G. r.
69		Mischpulver	azotanu amonu azotanu sodu dwucjanodwuamidu trójnitrotoluolu	62% 10% 5% 23%	G.—M. d. m.—M. l.
70	Rosja	Bawełna strzelnicza	nitroceluloza sprasowana	13% N	M. m. — T.
71		Żelatyna wybuchowa	nitrogliceryny bawełny kolodjonowej kamfory	90% 7% 3%	A. s. — B. l.
72		Melinit	kwasu pikrynowego nitronaftaliny	88% 12%	A. s. — G.
73		T. N. T.	trójnitrotoluolu	100%	G. — T.
74		Mieszanina	trójnitrotoluolu azotanu potasu azotanu amonu	60% 35% 5%	G. — G. r.— B. l.
75		Schneiderite	azotanu amonu dwunitronaftaliny	85% 15%	G.

L. p.	Państwa	Materjały wybuchowe	Skład chemiczny		Zastosowanie
76		Amonal	azotanu amonu trójnitrotoluolu glinu metalicznego węgla drzewnego	65% 15% 17% 3%	G. — G. r. — B. l.
77	Rumunja	Bawełna strzelnicza	nitroceluloza sprasowana	13% N	M. m. — T.
78		Melinit	kwasu pikrynowego nitronaftaliny	88% 12%	A. s. — g.
79		Tolite	trójnitrotoluolu	100%	G. — T.
80		Schneidérite	azotanu amonu dwunitronaftaliny	85% 15%	G.
81	Włochy	Bawełna strzelnicza	nitroceluloza sprasowana	13% N	M. m. — T.
83		Pertit	kwasu pikrynowego dwunitrofenolu	85% 15%	G. — G. p. — A. s.
83		Żelatyna wybuchowa	nitrogliceryny bawełny kolodjonowej	92,5% 7,5%	A. s.
84		Tritolo	trójnitrotoluolu	100%	G. — T.
85		Piombit	trójnitrotoluolu azotanu ołowiu	28% 72%	M. l.
86		Steelit	chloranu potasu krochmalu kalafonji	83,5% 2,5% 14%	M. d. m.
87		Minelit	chloranu potasu parafiny	85% 15%	G. r. — M. d. m.
88		Szedyt P.	nadchloranu amonu azotanu sodu parafiny	61,5% 30% 8,5%	G. r. M. d. m.–B. l.

K. p.	Państwa	Materjały wybuchowc	Skład chemiczny		Zastosowanie
89		Mitramit	azotanu amonu glinu metalicznego parafiny	72% 22% 6%	M. d. m.—B. l.
90		Schneidérite	azotanu amonu dwunitronaftaliny	85% 15%	G.
91	Włochy	Echo	azotanu amonu nitrocelulozy hypozyny glinu metalicznego	62% 5,5% 7,5% 25%	M. d. m.—B. l.
92		Sabulit	azotanu amonu azotanu sodu trójnitronaftaliny krzemianu wapnia	60% 18% 8% 14%	M. d. m.—B. l.
93		Blastin	nadchloranu amonu parafiny	90% 10%	G. r. M. d. m.—B. l.

Powyżej podany długi szereg materjałów wybuchowych odznacza się wielką rozmaitością; poszczególne materjały wybuchowe były stosowane do celów nieraz tak różnorodnych, że trudno o wyprowadzenie wniosków zawsze słusznych i trafnych bez bliższej znajomości zasad oceny własności fizycznych tych materjałów. Celem pracy niniejszej jest zaznajomienie Czytelników „Przeglądu Artyleryjskiego" z temi zasadami.

Zależnie od celów, do których materjały wybuchowe mają być używane, wymaga się różnych własności. Niezbędnemi własnościami są: wystarczająca siła krusząca, duża niewrażliwość na uderzenie, tarcie i t. p. i tem samem bezpieczeństwo użycia, wytrzymałość czyli odporność na ciepło i wilgoć przy przechowywaniu, więc odpowiednia stałość chemiczna i niehygroskopijność.

Materjały wybuchowe o niedostatecznej stałości chemicznej należy zgóry z użycia wykluczyć, gdyż mogą powodować nieszczęśliwe wypadki, a nawet katastrofy i nieobliczalne straty. Hygroskopijność jest również własnością niepożądaną, gdyż siła krusząca w wielkim stopniu zależy od zawartości wilgoci. Materjały wybuchowe, zawierające sole hygroskopijne, jak np. azotany sodu lub amonu i t. p., wymagają szczególnej ostrożności i uwagi przy przechowywaniu i użyciu. W celu zabezpieczenia ich od pochłaniania wilgoci, należy zastosować opakowanie szczególnie szczelne, np. zaparafinowane powłoki z masy tekturowej lub innej podobnej, blaszane puszki zalutowane i t. p.

Niewrażliwość materjałów wybuchowych na uderzenie, silne tarcie i t. p. jest rzeczą względną. Tak np. materjał wybuchowy, którego nie można używać do napełniania pocisków działowych ze względu na wrażliwość, może być zastosowany do min lądowych lub bomb lotniczych, ew. granatów ręcznych; do tej kategorji zalicza się wszelkie materjały wybuchowe, zawierające chlorany i nadchlorany potasu lub amonu; są to wprawdzie tylko materjały zastępcze, lecz podczas wojny będą one niezbędne z powodu ogólnego braku innych surowców. Typowym takim materjałem wybuchowym niemieckim była np. mieszanina o składzie chemicznym.

nadchloranu potasu	56%
dwunitrobenzolu	32%
dwunitronaftaliny	12%

zastosowana do min dla miotaczy i bomb lotniczych, która wymagała dużo ostrożności zarówno przy fabrykacji, jak i w użyciu.

Zanim przystąpię do bliższego określenia siły kruszącej i działania materjałów wybuchowych oraz krótkiego opisu metod badania tychże, chciałbym określić i zanalizować — choćby tylko w krótkości— pojęcie wybuchu. Wybuchem w języku potocznym jest nagła przemiana stałego lub płynnego materjału w olbrzymią ilość gazu, wywołująca huk i zniszczenie. W znaczeniu naukowem musimy jednak rozróżnić: *wybuch* np. prochu i *detonację* kruszącego materjału wybuchowego.

Proch spala się z większą lub mniejszą szybkością, wydzielając dużą ilość gazów, które — rozprężając się — działają rozsadzająco. Nagłe i silne uderzenie rozprężających się gazów powybuchowych w powietrzu spowoduje huk. Ponieważ proch przetwarza się w dużą ilość gazu przez spalanie, można wywołać wybuch prochu przez zapalenie go lontem zwyczajnym.

Zupełnie inaczej zachowują się kruszące materjały wybuchowe, których nie można zapalić lontem; ażeby wywołać ich wybuch, raczej detonację, należy używać silnych zarzewi w postaci t. zw. detonatorów np. z piorunianu rtęci $Hg(CNO)_2$ lub soli kwasu azotowodorowego, np. azotek ołowiu PbN_6. Eksplodujący detonator wywołuje silną falę wybuchową, która przenosi detonację na dany kruszący materjał wybuchowy, postępując od drobiny do drobiny, od warstwy do warstwy. Musimy więc przy kruszących materjałach wybuchowych rozróżnić:

1) działanie samej fali wybuchowej, jako przenośnika detonacji,

2) działanie gazów powybuchowych o wysokiej prężności i temperaturze.

Fale wybuchowe można wyjaśnić w ten sposób, że cząsteczki gazu wytwarzanego w miejscu inicjowania detonacji — chociaż o temperaturze bardzo wysokiej — nie mają tyle czasu ,ażeby przenieść ciepło do sąsiedniej warstwy, jak to się odbywa przy spalaniu prochu. Raczej drgania cząsteczek gazu działają zapomocą swej energji kinetycznej, uderzając na cząsteczki sąsiednie. Przez to temperatura sąsiednich cząsteczek materjału wybuchowego podnosi się do ciepła wybuchu; cząsteczki te ulegają rozkładowi eksplozywnemu, a nowo wytwarzane cząsteczki gazu przenoszą drgania na dalsze warstwy sąsiednie. Następuje to w czasie niezmiernie krótkim, który jest prawie 5% czasu spalania się prochu. Mamy tu do czynienia z nieprzerwanym szeregiem efektów mechanicznych, kalorycznych i chemicznych. Cząsteczki gazu ulegają drganiom więcej lub mniej silnym, które należy zrozumieć jako szereg gwałtownych uderzeń, wykonanych w tempie niezmiernie szybkiem, działających na otoczenie. Drganie cząsteczek gazu można najlepiej sobie wyobrazić w ten sposób, że samą cząsteczkę gazu uważamy za głowicę, zaś amplitudę za trzonek młota uderzającego na wszystkie strony. Jest rzeczą jasną, że całkowita suma poszczególnych uderzeń zależy od ciężaru cząsteczek gazu, ilości drgań i wielkości amplitudy. Im większy jest ciężar cząsteczek gazu, im większa ilość drgań na jednostkę czasu, im większa amplituda — tym większy jest efekt uderzeń. Efekt ten jest miażdżący, a nie rozsadzający. Pracę rozsadzającą wykonują rozprężające się gazy powybuchowe.

Odróżniamy więc wybuch prochu od detonacji kruszącego materjału wybuchowego. Rozprężające się gazy powybuchowe tak prochu, jak i kruszącego materjału wybuchowego działają na otoczenie rozsuwająco; drgania fali wybuchowej działają miażdżąco, naruszając

spoistość wewnętrzną ciał otaczających np. ścianek komory wybuchowej granatu; można sobie łatwo wyobrazić, że najbardziej kruszący materjał wybuchowy o silniejszych drganiach fali wybuchowej musi więcej rozkruszyć ścianki granatu i dawać mniejsze odłamki, aniżeli kruszący materjał wybuchowy o mniejszej ilości drgań i mniejszych amplitudach.

Wyczerpująca ocena kruszących materjałów wybuchowych wymaga zaznajomienia się z efektami mechanicznemi, kalorycznemi i chemicznemi fali wybuchowej i dynamiką sprężonych gazów powybuchowych, jak również innemi własnościami fizycznemi materjałów kruszących, przytoczonemi już powyżej (stopień wrażliwości na uderzenie, odporność wobec ciepła i t. d.).

1. Prędkość fali wybuchowej. (detonacji).

Do oznaczenia prędkości fali wybuchowej posługujemy się metodą Inż. Dautriche'a, członka francuskiej „Commision des substances explosives", która polega na porównaniu prędkości fali wybuchowej danego materjału wybuchowego ze znaną prędkością fali wybuchowej lontu detonującego. Metodę tę, opisaną w „Chemji materjałów wybuchowych" Dr. Inż. St. Micewicza 1926, zmodyfikował Dr. Kast w ten sposób, że zamienił dwa kawałki lontu detonującego przez jeden; zderzenie obu zbiegających się fal pozostawia na skutek ich nagłego zgęszczenia wyraźny ślad w kształcie małego rowku na płycie ołowianej.

Materjał wybuchowy	Gęstosć	Prędkość fali wybuchowej w m/sek.
kwas pikrynowy	1,6	7100
	1,4	6300
	1,2	5200
	1,0	4800
trójnitrotoluol	1,6	6700
	1,4	6200
	1,2	5400
	1,0	4800

Metoda jest ścisłą i pewną, ale wymaga zachowania jednakowych warunków wykonania:

a) Materjał wybuchowy musi być zawsze jednakowo umieszczony w rurze, t. zn. w pewnem zamknięciu.

b) Średnica naboju ma duży wpływ na wynik, średnica optymalna wynosi od 40 do 50 mm.

c) Największy wpływ na wynik ma gęstość materjału wybuchowego, co widać z tabeli (str. poprzednia).

d) spłonki stosowane do pobudzenia materjału wybuchowego winne być o jednakowej sile kruszącej i nie słabsze niż 1,5 gramowe.

2. *Siła krusząca.*

Metody bezpośredniego oznaczenia siły kruszącej polegają na oznaczeniu zgniecenia (stłoczenia) cylinderków (ołowianych lub miedzianych). Im większe jest zgniecenie tychże cylindrów, tem silniejsze, energiczniejsze były drgania fali wybuchowej.

Warunki wykonania doświadczeń według różnych znanych metod są tak różne, że nie można porównywać wyników otrzymanych różnemi metodami. Ze wszystkich metod (Hess'a, francuskiej i Noble'a), metoda Noble'a zdaje się być najpewniejszą, gdyż dokładność obydwóch innych metod ograniczoną jest ugniatalnością ołowiu. Wyniki osiągnięte metodą Noble'a i wyrażone w milimetrach są stosunkowo dosyć *równe*, tak, że można na nich polegać.

3. *Siła rozsuwająca.*

Najstarsza metoda oznaczenia siły rozsuwającej polega na mierzeniu wybrzuszenia (rozdęcia) w bloku Trauzl'a z ołowiu rodzimego (miękkiego). Poszerzenie bloku Trauzl'a jest miernikiem sumy działania wszystkich sił, t. j. efektów mechanicznych, kalorycznych i chemicznych, nie dających możności oddzielnego oznaczenia siły kruszącej i ciśnienia gazów. Poza tem metoda ta ma dla celów wojskowych znaczenie drugorzędne, gdyż materjały wybuchowe, detonujące pod silnem zamknięciem (granat, bomba i t. p.) dają zupełnie inny efekt wybuchu aniżeli w bloku Trauzl'a, w którym zamknięcie stanowi mała warstwa piasku.

Dla ścisłego określenia i oznaczenia siły rozsuwającej służy raczej „*Ciśnienie właściwe*" gazów powybuchowych f (force)

$$f = 1{,}033\, V_0 \frac{273 + t}{273}$$

Jest to ciśnienie, wytworzone przez 1 kg lub 1 gr materjału wybuchowego detonującego w naczyniu zamkniętem pojemności 1 dm^3

lub 1 cm³, przyczem poprawka objętości gazów $\left(\alpha = \frac{V_0}{1000}\right)$ i pozostałości stałe nie są uwzględnione.

Obliczenie stałych fizycznych rozkładu wybuchowego, jak:

V_0 = ilości litrów gazu,

Q = ciepła reakcji podczas wybuchu,

t = temperatury wybuchu,

f = ciśnienia właściwego,

znajdziemy w rozdziale IV wymienionej już wyżej „Chemji materjałów wybuchowych".

4. *Dane liczbowe, dotyczące ciepła wybuchu oraz innych własności niektórych materjałów wybuchowych.*

Spalanie materjałów wybuchowych jest przemianą chemiczną, wydzielającą pewną ilość ciepła, do mierzenia której służy kalorymetr.

Poniżej podaję szereg równań, według których najprawdopodobniej przebiega rozkład wybuchowy oraz obliczone z nich stałe fizyczne, uzupełnione dodawaniem szybkości detonacji V_d (velocité) i stłoczenie cylinderków miedzianych *stł* według metody Noble'a oznaczających siłę kruszącą.

Żelatyna wybuchowa. (92, 8).

$$40{,}5\ C_3H_5(ONO_2)_3 + 0{,}76\ C_{24}H_{31}O_{11}(ONO_2)_9 = 132\ CO_2 + 8\ CO + 112\ H_2O + 64\ N_2 + H_2$$

V_0 = 710 litrów	t = 4300° C
Q = 1540 kal.	f = 12280 kg/cm²
V_d = 7800 m/sek.	*stł* = 4,8 mm

Kwas pikrynowy.

$$440\ C_6H_2OH(NO_2)_3 = 660\ N_2 + 436\ CO_2 + 2120\ CO + 84\ CH_4 + 354\ H_2 + 88\ H_2O$$

V_0 = 836 litrów	t = 2274° C	|: Kast 3230° C :|
Q = 786 kal.	f = 8060 kg/cm²	|: Kast 8950 kg/cm² :|
V_d = 7100 m/sek.	*stł* — 4,1 mm.	

Trójnitrotoluol.

$$440\ CH_3C_6H_2(NO_2)_3 = 660\ N_2 + 280\ CO_2 + 1050\ CO + 280\ CH_4 + 310\ H_2 + 230\ H_2O + 670\ C$$

V_0 = 809 litrów	t = 2400° C
Q = 893 kal.	f = 8180 kg/cm²
V_d = 6700 m/sek	*stł* = 3,6 mm.

Amonal I austr.

$$575\, NH_4\, NO_3 + 132\, CH_3\, C_6 H_2 (NO_2)_3 + 20\, C_5 H_6 O_2 + 407\, Al_2 = 773\, N_2 + 407\, Al_2 O_3 + 200\, CO_2 + 700\, CO + 124\, CH_4 + 1106\, H_2 + 236\, H_2O$$

$V_0 =$ 703 litrów — $t = 4060^0 C$
$Q = 1572$ kal. — $f = 11540$ kg/cm^2
$V_d = 5460$ m/sek — $st\l = 2{,}8$ mm

Amatol 40/60.

$$500\, NH_4\, NO_3 + 264{,}3\, CH_3 . C_6\, H_2\, (NO_2)_3 = 896\, N_2 + 300\, CO_2 + 1250\, CO + 300\, CH_4 + 25\, H_2 + 1236\, H_2O$$

$V_0 =$ 898 litrów — $t = 2106^0\, C$
$Q =$ 940 kal. — $f = 8150$ kg/cm^2
$V_d = 6100$ m/sek (?) — $st\l = ?$

Szedyt typu 60.

$$64{,}5\, KClO_3 + 8{,}2\, CH_3 . C_6\, H_3\, (NO_2)_2 + 0{,}6\, C_{10}\, H_7\, NO_2 + 1{,}7\, C_{17}\, H_{32}\, OH . COOH = 64{,}5 . KCl + 94\, CO_2 + 44{,}6\, H_2O + 11\, H_2 + 8{,}5\, N_2$$

$V_0 =$ 354 litrów — $t = 4390^0\, C$
$Q = 1231$ kal. — $f = 6250$ kg/cm^2
$V_d = 3000$ m/sek — $st\l = 1{,}4$ mm.

5. *Wrażliwość materjałów wybuchowych na uderzenie.*

W ustępach poprzednich omówiliśmy wszelkie własności materjałów wybuchowych, klasyfikujące ich według zdolności działania. Pozostały nam jeszcze do omówienia w krótkości te własności fizyczne, które cechują materjały wybuchowe pod względem praktycznego zastosowania ich.

Przedewszystkiem ważną własnością materjałów wybuchowych jest ich wrażliwość na uderzenie, mierzona powszechnie „*Próbą uderzenia ciężarkiem (kafarkiem)*".

Dr. Brumswig podał w „Explosivstoffe" 1909 długi szereg materjałów wybuchowych, zbadanych na wrażliwość na uderzenie ciężarkiem 2 kilogramowym, między innemi:

Materjał wybuchowy	Wysokość spadku 2 kg ciężarku w cm
piorunian rtęci	2
pikrynian ołowiu	5
żelatyna wybuchowa	17
trójnitrokresol	30
szedyt, typ 60	32
kwas pikrynowy	35
szedyt, typ 41	36
heksanitrodwufenilamina	40
trójnitrobenzol	40—50
tetranitrometylanilina	40—65
trójnitrotoluol	57—90
amonosaletrzane materjały wyb.	110
dwunitrofenol	150
trójnitronaftalina	175
nitroceluloza 20% H_2O	180

Oprócz tej próby stosuje się nieraz próba ostrzeliwania materjałów wybuchowych z karabinu na bliską odległość np. 100 m. Na taką odległość np. trójnitrotoluol okazał się jako niewrażliwy, zaś kwas pikrynowy — niekażdorazowo pewny.

6. *Wrażliwość na wysokie temperatury.*

Badanie wrażliwości materjałów wybuchowych na działanie wysokiej temperatury jest rzeczą konieczną celem ustalenia, czy dany materjał wybuchowy będzie bezpieczny przy przechowywaniu, transporcie oraz w wypadkach anormalnych (pożar, silne działanie promieni słonecznych i t. p.).

Z szeregu prób opisanych w odnośnych podręcznikach wymieniam tylko następujące:

a) *Próba stałości chemicznej (próba nagrzewania).* 10 gr rozdrobnionego materjału wybuchowego umieszcza się w próbówce wagowej, którą się wkłada w termostat ogrzewany do temperatury od 45—50° C lub od 75—80°C. Materjał wybuchowy o dobrym gatunku powinien znieść działania temperatury od 45—50° C na przeciąg około 2-ch

miesięcy, od 75—80° C około miesiąca bez większej straty ciężaru niż 1%.

b) *Próba zapłonienia,* wykonana z 0,1 gr materjału wybuchowego, zanurzonego w próbówce w kąpieli olejowej, oznacza temperaturę, przy której dany materjał wybuchowy zapłonie z sykiem lub z trzaskiem.

W literaturze podane są następujące temperatury zapłonienia:

nitroceluloza	187 ± 2,5° *C*
kwas pikrynowy	305 ± 5° *C*
trójnitrotoluol	297,5 ± 2,5° *C*
trójnitrokresol	286 ± 1° *C*
trójnitroanizol	293 ± 3° *C*
heksanitrodwufenilamina	250 ± 2° *C*
tetranitrometylanilina	192 ± 2° *C*
amonal	> 250° *C*
szedyt	261,5 ± 3,5° *C*
territ (43% NH_4ClO_4)	301,5 ± 3,5° *C*

Rozważania końcowe.

Przy wyborze materjału wybuchowego trzeba przedewszystkiem postawić pytanie, do jakiego celu dany materjał wybuchowy ma służyć? Jest rzeczą zrozumiałą, że tam, gdzie chodzi o efekt kruszący, miażdżący, np. zburzenie silnego sklepienia granitowego, należy zastosować kwas pikrynowy lub żelatynę wybuchową, a nie amatol lub amonal. Granat napełniony kwasem pikrynowym działa na cel przy uderzeniu nietylko swoją energją kinetyczną $E = \frac{m \cdot V^2}{2}$, lecz i siłą kruszącą samego kwasu pikrynowego, która jest proporcjonalną do szybkości detonacji. Jeżeli chodzi o efekt rozsuwający, spustoszenie przez rozrzucenie części i odłamków celu zburzonego, nadaje się lepiej materjał wybuchowy o mniejszej szybkości detonacji, natomiast większem ciśnieniu właściwem gazów powybuchowych.

Następujące dane wyjaśnią różnicę między materjałem wybuchowym bardziej kruszącym, a materjałem wybuchowym o mniejszej szybkości detonacji i większem ciśnieniu właściwem. Próby porównawcze rozdrobienia 75 mm granatu kwasem pikrynowym i amonosaletrzanym materjałem wybuchowym, podobnym do amatolu, dały wynik następujący:

ciężar odłamków	ilość odłamków w % ciężaru pocisku	
	kwas pikrynowy	amonosaletra mat. wyb.
od 0 do 10 gr	12 %	3 %
„ 10 „ 50 „	42 %	29 %
„ 50 „ 100 „	17 %	34 %
„ 100 „ 200 „	10 %	15 %
„ 200 „ 500 „ (głowica)	19 %	19 %

Z zestawienia powyższego widzimy, że kwas pikrynowy działa bardziej krusząco, daje znacznie większą ilość odłamków małoskutecznych aniżeli amatol lub amonal; kwas pikrynowy rozdrabia 69% ciężaru pocisku na odłamki od 10 gr do 200 gr zaś amatol lub amonal 78%.

Ażeby uprzytomnić sobie jeszcze wyraźniej różnicę działania różnych materjałów wybuchowych, podaję poniżej obliczone szybkości i energję kinetyczną, których nabrałyby odłamki przy wybuchu granatu 100 mm (jako szybkości i energje dodatkowe). Obliczenia przeprowadzone są dla odłamków o ciężarze 30 g, 80 g i 150 g. Powierzchnie propoicjonalne odłamków, na które działa ciśnienie właściwe *f* gazów powybuchowych wynoszą 3,08 cm^2, względnie 7,77 cm^2, względnie 10,68 cm^2. Przy obliczeniu ciśnienia gazów powybuchowych przyjęto gęstość 1,6 — równą dla wszystkich materjałów wybuchowych— zatem ciśnienie gazów powybuchowych w chwili eksplozji = 1,6 f.

Materjał wybuchowy	Ciśnienie właściwe	odłamki 30 gr.		odłamki 80 gr.		odłamki 150 gr.	
	f w kg/cm²	*V* m/sek	ε kgm	*V* m/sek	ε kgm	*V* m/sek	ε kgm
kwas pikrynowy	8190	162	40	158	101	135	140
trójnitrotoluol	7560	156	37	152	94	130	130
amatol 40/60	7840	159	38	155	97	133	134
schneiderite	8760	168	43	165	111	140	150
amonal	11060	189	54	184	137	157	189
szedyt typ 60	5890	138	30	134	74	116	102

Widzimy, że materjał wybuchowy o większem ciśnieniu właściwem gazów powybuchowych nadaje odłamkom większą szybkość dodatkową i tem samem większą energję kinetyczną. Wobec tego materjały wybuchowe o większem ciśnieniu właściwem gazów powybuchowych mają większą przestrzeń działania.

Streszczając powyższe, możemy już na podstawie rozważań teoretycznych osądzić, jakie powinno być zastosowanie różnych materjałów wybuchowych. W celu przejrzystego ujęcia tegoż zadania omówimy kolejno różne możliwości zastosowania w zarysach ogólnych, przyczem materjały wybuchowe podane będą stosownie do ich siły kruszącej w takim porządku, że materjał wybuchowy o największej sile kruszącej będzie na pierwszem miejscu:

1) *Granaty działowe:* kwas pikrynowy, trójnitrotoluol, amonal, amatol $^{40}/_{60}$ i amatol $^{80}/_{20}$.

Napełnianie granatów kwasem pikrynowym dla dział polowych o niewielkiej szybkości początkowej pocisków V_0 nie sprawia naogół większych trudności, zaś elaboracja (nabijanie) wielkich kalibrów o wielkiej szybkości początkowej pocisków V_0 kwasem pikrynowym wymaga dużo umiejętności i doświadczenia, ponieważ najmniejsza nieuwaga podczas napełniania pocisków może łatwo stać się powodem braku skuteczności lub, co gorzej, przedwczesnego wybuchu granatu w lufie. Jest stąd zrozumiałem, dlaczego zastosowano np. w Stanach Zjednoczonych A. P. i Anglji amatol $^{40}/_{60}$ do wielkich granatów (aż do 38 cm) lub w Austrji amonal do granatów pancernych wielkich dział (aż do 30,5 cm) i t. p. Granat pancerny działa morskiego, np. 24 cm, posiada bardzo często szybkość końcową, wynoszącą około 500 m sek, t. zn. końcową energję kinetyczną $\varepsilon = 2.740000$ kgm odpowiadającą około 6400 dużym kalorjom. Taka ilość ciepła wystarczy, ażeby podnieść temperaturę materjału wybuchowego do blisko 300° C, więc do temperatury zapłonienia tegoż. W takich wypadkach kwas pikrynowy nieraz zawiedzie przy uderzeniu granatu o płytę pancerną, gdy wybuch niepełny nastąpi przed przebiciem płyty; tymczasem np. amonal według doświadczeń przeprowadzonych na płytach pancernych o grubości od 230 do 305 mm wybuchł po przebiciu płyty w odległości 1 m za płytą.

2) *Miny dla miotaczy:* przeważnie zastosowuje się trójnitrotoluol, amonal, amatol, sznejderyt i t. p. Kwas pikrynowy można użyć w wypadkach, w których chodzi o specjalne zadania.

3) *Bomby lotnicze:* najczęściej amonal, amatol, nitramit, perdyt, sabulit i t. p. odpowiadają swoim zadaniom. W wypadkach, w których

chodzi o konieczne wykorzystanie większej siły kruszącej, zastosowuje się kwas pikrynowy lub mieszanina 65% heksanitrodwufenilaminy z 35% trójnitrotoluolu lub trójnitrotoluol.

4) *Granaty ręczne, trzonowe i t. p.:* przeważnie używa się amonal, amatol, perdyt, sznejderyt, szedyt i t. p.

5) *Amunicja saperska:* żelatyna wybuchowa, kwas pikrynowy, trójnitrotoluol, odpowiadają przeważnie wymaganiom technicznym. Amonal może być nieraz zastosowany również z powodzeniem, ale jest pożądanem, żeby amonal ten był specjalnie przyrządzony. Można np. przyrządzić taki amonal, który już przy gęstości ładunku 1,25 posiada szybkość detonacji około 5700 m/sek.

6) *Miny lądowe:* do min lądowych można zastosować wszelki materjał wybuchowy; naturalnie jest pożądanem, by materjał wybuchowy miał wystarczające ciśnienie właściwe gazów powybuchowych.

7) *Miny morskie:* trójnitrotoluol, nitroceluloza. Przy zastosowaniu materjałów wybuchowych do min morskich trzeba się liczyć z możliwością nieszczelności zbiornika, co może nastąpić dopiero zczasem; zatem należy odpowiednio ochronić ładunek od ewentualnego zwilgotnienia. Przy pewnej izolacji wilgoci można również zastosować z powodzeniem amonal.

8) *Torpedy:* przeważnie stosuje się kwas pikrynowy, mieszaninę 65% heksanitrodwufenilaminy z 35% trójnitrotoluolu, trójnitrotoluol i nitroceluloza.

Oprócz danych zasadniczych, powyżej przytoczonych, istnieje naturalnie szereg innych kombinacyj, tak, iż doświadczony chemik zawsze będzie w możności rozwiązania dokładnie sprecyzowanego zadania wyboru materjału wybuchowego najbardziej odpowiadającego danemu celowi.

TOMASZEWSKI ALEKSANDER.

TOLERANCJE WYKONANIA PŁYTEK JOHANSSON'A

WSTĘP.

Płytki Johansson'a służą jako wzorce końcówkowe przy mierzeniu. Dzielą się one na cztery kategorje AA, A, B i C według dokładności wykonania. Każda płytka posiada na jednej ze swych powierzchni cyfrę, podającą jej nominalną długość w milimetrach lub calach.

Oczywistą jest rzeczą, że długość płytki Johansson'a nigdy nie jest ściśle równa jej nominalnej wartości. Przy najwyższej kategorji płytek zawsze będziemy w stanie znaleźć tak małą część milimetra, która będzie odpowiadała różnicy między nominalną a rzeczywistą długością płytki.

Zastanówmy się, co znaczy wartość nominalna płytki.

W tym celu przypomnijmy sobie krótko dzieje powstania metra we Francji. W roku 1790 na wniosek Talleyrand'a, Konstytuanta powierzyła Paryskiej Akademji Umiejętności ustalenie naturalnej jednostki długości. Wybrano „Commision des poids et mesures", która przyjęła za jednostkę długości jedną czterdziestomiljonową część południka ziemskiego, przechodzącego przez Paryż.

W dniu 26 marca 1791 roku Zgromadzenie Narodowe przyjęło tę uchwałę.

Méchain (1744—1804) i Delambre (1749—1822) rozpoczęli pomiary południka paryskiego. Zmierzyli oni łuk Dunkerque—Barcelona w latach 1792—1798. Delambre potem podał te pomiary w dziele: „Base du systême metrique". Jako jednostka do pomiarów została użyta stara miara francuska „toise". Długość łuku Dunkerque—Barcelona 9°40' 23", 99 według pomiarów wyniosła 552584,12 t. Stąd jedna

czwarta część południka ziemskiego wynosiła 5130740 t. Zatem według określenia metr powinien wynosić 0,5130740 t. Ponieważ „toise" zawiera 864 linij paryskich, zatem metrowi odpowiada długość równa 443,296 linij paryskich. Jest to metr „vrai et définitif", jak go określono. Został on zatwierdzony w dniu 24 czerwca 1799 r. Obywatel Nord zrobił wzorzec metra z platyny i irydu, na którym wyryto te słowa: „Pour tous les temps, pour tous les peuples".

Rzeczywiście w roku 1875 szesnaście państw zawarło umowę, według której metr został jednostką długości międzynarodową. Ze stopu 90% platyny i 10% irydu wykonano kopje metra wzorcowego. W przekroju mają one kształt litery X, aby stawiały opór na zginanie. Na każdej z kopij metr jest określony odległością dwóch rys w temperaturze 0° C.

Kopje metra wzorcowego rozesłano do wszystkich szesnastu państw. Są one porównane z metrem wzorcowym z dokładnością do jednego mikrona [1]).

Kopja Nr. 8 została umieszczona w Sèvres pod Paryżem w specjalnie wybudowanym pawilonie „de Breteuil".

Kopja ta stanowi obecnie międzynarodowy wzorzec metra.

Metr wzorcowy nie odpowiada jednak ściśle jednej czterdziestomiljonowej części południka ziemskiego, przechodzącego przez Paryż.

Jest mianowicie krótszy od tej części o 0,mm 19. Różnica ta powstała wskutek tego, że kąt zmierzonego łuku południka obliczono błędnie, gdyż nie uwzględniono tego, że z jednej strony masa morza (Dunkerque) z drugiej strony masa gór (Pirenei) dzięki przyciąganiu zmieniały kierunek pionu przy pomiarach. Poprawienie tego błędu byłoby trudne, więc pozostawiono dawny metr, jako obowiązujący. Stracił on jednak swój związek z naturalną długością.

Według prawa z dnia 2 kwietnia i dekretu z dnia 26 lipca 1919 r. o jednostkach miar, które obowiązują obecnie we Francji, jednostką główną długości jest metr. Oto tłumaczony ustęp z oryginału:

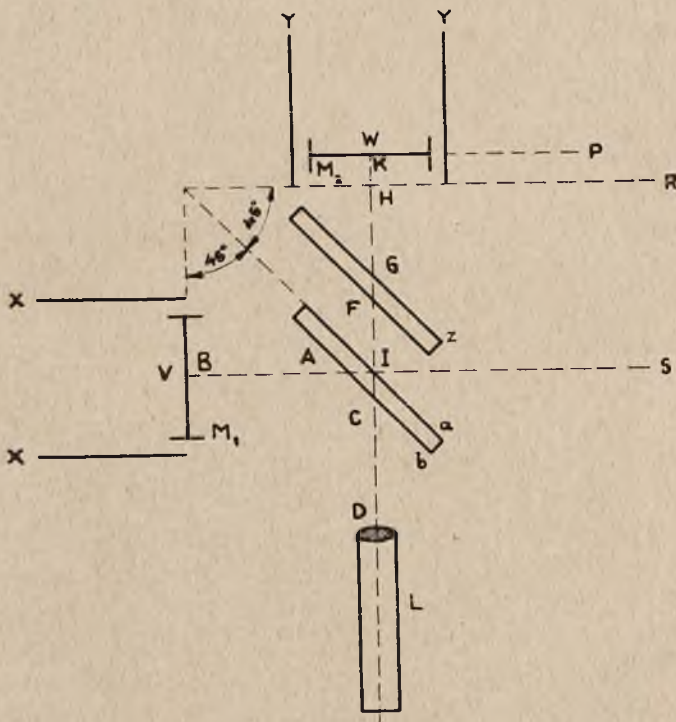
„Wzorcem dla miar długości jest metr, długość określona w temperaturze 0° przez prototyp międzynarodowy ze stopu platyny i irydu. Prototyp ten został zatwierdzony przez Konferencję ogólną wag i miar, zebraną w Paryżu w 1889 r. i znajduje się w pawilonie de Breteuil w Sèvres. Jednostką długości, od której zostaną wyprowadzone jednostki mechaniki przemysłowej, jest metr".

---

[1]) 1 mikron (μ) = 0,001 milimetra (mm).

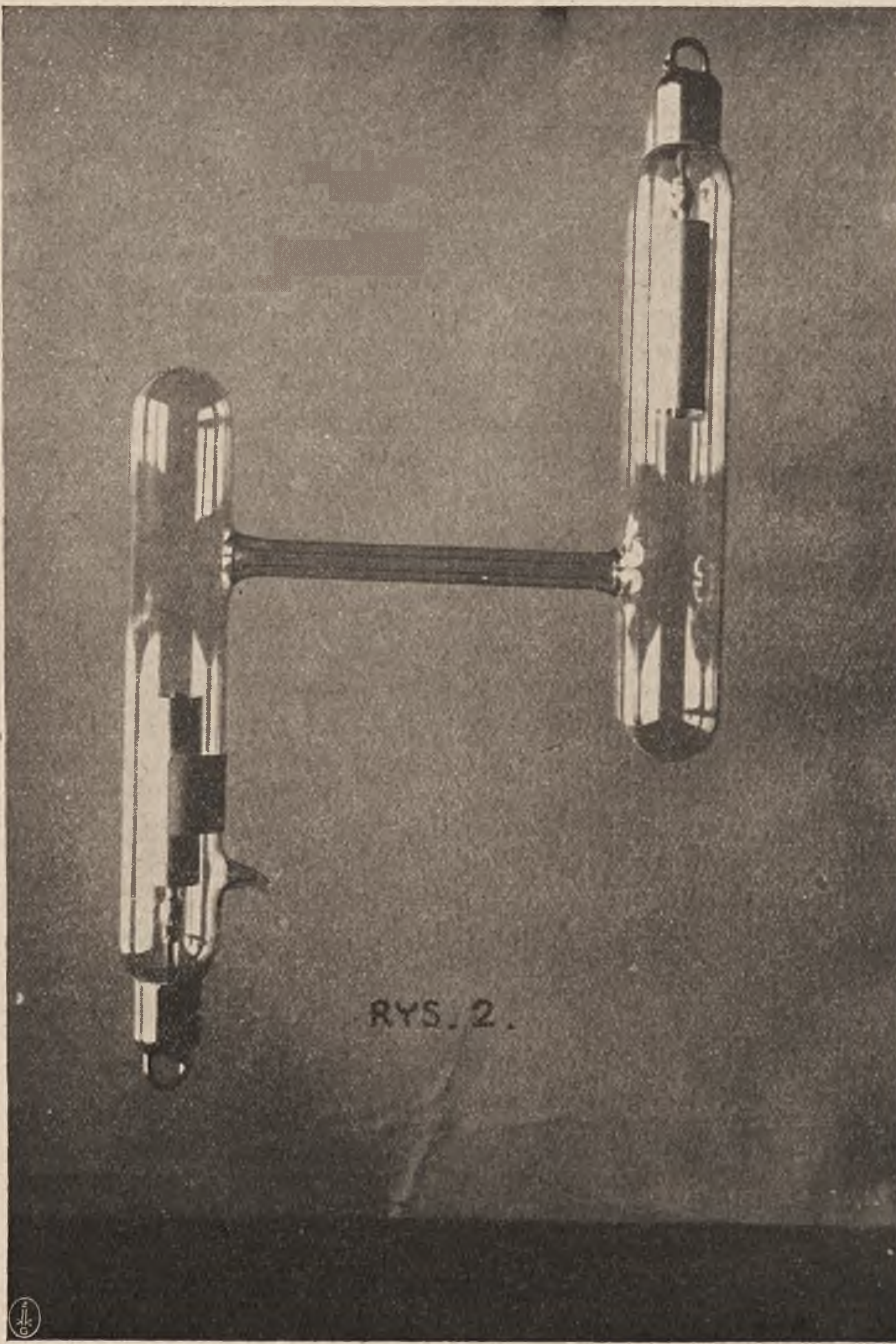
Metr więc jest jednostką długości, która nie posiada podstawy naturalnej. Zależy on od metalu, na którym jest oznaczony, wskutek czego może podlegać odkształceniom.

Oprócz tego jednostka ta jest dość duża i nie daje potrzebnej dokładności przy mierzeniu bardzo małych długości, z jakiemi ma do czynienia współczesna nauka. Zaczęto więc starać się o określenie dostatecznie dokładnej jednostki długości, któraby opierała się na naturalnej podstawie. Nauka zwróciła się do długości fal świetlnych.



Rys. 1.

Michelson użył interferencji fal dla porównania metra z długością fal trzech promieniowań kadmu. Jego przyrząd pozwala zmierzyć odległość dwóch powierzchni zwierciadlanych z dokładnością do paru setnych mikrona. Metody tej używa się tylko dla odszukania ostatnich znaków dziesiętnych. Jeżeli więc chodzi o zmierzenie długości „*e*" płytki, należy uprzednio zmierzyć tę długość metodą zwykłą z dokładnością do paru mikronów. Schemat przyrządu Michelson'a przedstawiony jest na rys. 1 według „Cours de Physique Générale", H. Olli-



RYS. 2.

vier'a, t. III, Paryż 1923. Według tego dzieła podamy również dane dotyczące pomiarów Michelson'a.

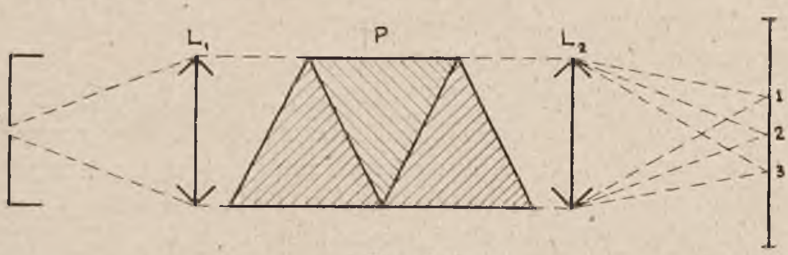
Zwierciadło M_1. Zwierciadło ze szkła zupełnie płaskiego, srebrzonego. Zwierciadło to spoczywa na wózku V, który można przesuwać wzdłuż prowadnic XX, dzięki śrubie mikrometrycznej o długości 1, m 40. Prowadnice XX są starannie dotarte i zupełnie równoległe.

Płytka ab. Płytka ze szkła, której jedna z powierzchni a jest lekko posrebrzona, wskutek czego płytka jest półprzezroczysta. Płytka jest nachylona pod kątem 45° do zwierciadła M_1. Obraz R płaszczyzny M_1, utworzony przez zwierciadło a, jest nazwany płaszczyzną odniesienia.

Zwierciadło M_2. Powierzchnia jego P jest srebrzona i ściśle równoległa do płaszczyzny odniesienia. Zwierciadło to spoczywa na wózku W i może się przesuwać na prowadnicach YY przy pomocy śruby mikrometrycznej, której długość wynosi 1, m. 40. Prowadnice YY są podobne do prowadnic XX.

Kompensator Z. Płytka ze szkła, mająca tę samą grubość co i płytka *ab*. Te dwie płytki są równoległe względem siebie. Źródłem światła S są naogół lampki próżniowe w kształcie litery H z elektrodami (Rys. 2). Jeżeli do pomiarów używa się długości fali promieniowania kadmu, to lampka zawiera parę kadmu.

Używa się także światła łuku rtęciowego, neonu, helu, łuku żelaza, który daje promieniowanie bogate w prążki. Światło z lampki przechodzi przez diafragmę f, którą można regulować zarówno co do położenia, jak i co do szerokości. (Rys. 3).



Rys. 3.

Diafragma f jest umieszczona w ognisku soczewki L_1. Promienie są rozkładane przez system pryzmatów P. Soczewka L_2 zbiera obraz źródła światła według obrazów oddzielnych barw 1, 2, 3... Na rysunku jest pokazana tylko jedna wiązka światła rozłożonego, a mianowicie ta wiązka, która tworzy obraz 2.

Przy użyciu lampki kadmowej otrzymujemy 4 obrazy: barwy

czerwonej, zielonej, niebieskiej i fioletowej. W nowszych interferometrach pryzmat P może zmieniać kąt nachylenia przy pomocy specjalnej śruby, dzięki której możemy rzucać potrzebną nam barwę na płytkę *ab*. Pryzmat ten daje wtedy stałe załamanie światła o kąt 90^0, i musi dawać silne rozszczepienie. Soczewka L_2 zbiera promienie dopiero po przejściu przez cały układ optyczny interferometru, czyli znajduje się przy wejściu do okularu. Źródło światła S wysyła promienie jednorodne takie, jak SI. W punkcie I na powierzchni a tworzą się dwa promienie (Rys. 1):

1°. Promień IAB, który odbija się w B, powraca wzdłuż BAI, odbija się w I i podąża w kierunku ICD.

2°. Promień $IFGHK$, który odbija się w K i powraca wzdłuż drogi $KHGFICD$. Luneta L otrzymuje te dwa promienie, które łączy. Promienie te przedstawiają różnicę dróg geometrycznych, równą $2KH$, gdyż $IB = IH$ oraz $IA = GF$, ponieważ kompensator Z ma tę samą grubość co płytka *ab*. Różnica dróg optycznych wyniesie $2HK + \frac{\lambda}{2}$ gdzie λ oznacza długość fali użytego światła. Różnica ta jest większa o $\frac{\lambda}{2}$ od różnicy dróg geometrycznych, gdyż jeden z promieni odbija się w powietrzu od szkła, a drugi — w szkle od powietrza. Zjawisko jakie następuje, jest takie same, jakie daje płytka powietrzna, ograniczona przez dwie płaszczyzny odbijające P i R, a mianowicie:

I. jeżeli płaszczyzny P i R są zupełnie równoległe i jeżeli światło jest jednorodne, dadzą się zaobserwować w lunecie prążki, umieszczone w nieskończoności, które będą tworzyły pierścienie koncentryczne, naprzemian czarne i błyszczące,

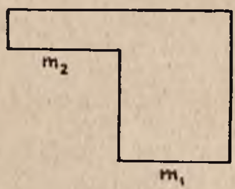
II. jeżeli płaszczyzny P i R się zleją, całe pole widzenia lunety L będzie czarne. Mówimy wtedy, że nastąpił kontakt optyczny między płaszczyzną P i R. Aby się przekonać, czy nastąpił naprawdę kontakt optyczny, należy postępować jak następuje: gdy płaszczyzny P i R stanowią jedną całość, trzeba obrócić bardzo lekko specjalnem urządzeniem zwierciadło M^2, czyli płaszczyzną P, około pionu. W ten sposób utworzymy pomiędzy P i R kąt powietrza, który, oświetlony światłem białem, daje w polu widzenia lunety prążki barwne. Jeżeli środek lunety będzie nastawiony na punkt przecięcia się płaszczyzn P i R, to prążek centralny będzie zupełnie czarny i łatwy do odnalezienia.

Zwierciadło M_1 posiada na sobie dwie prostopadłe nitki pajęcze, których obraz znajduje się również w polu widzenia lunety L. Można

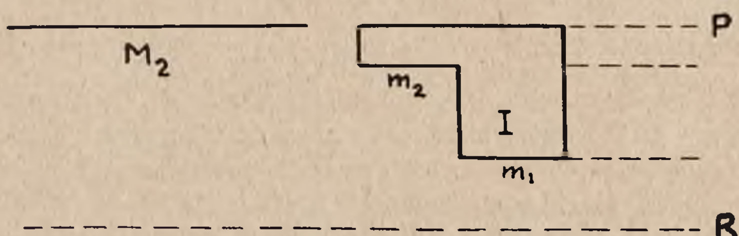
więc naprowadzić prążek centralny na określoną nitkę pajęczą zwierciadła M_1.

Przed przystąpieniem do zmierzenia metra przy pomocy długości fal świetlnych, wykonano 9 płytek wzorcowych. Pierwsza — posiadała długość około 10 cm . $2^{-8} = 0$, mm 39. Każda następna była dwa razy dłuższa od poprzedniej tak, że dziewiąta miała długość równą około 10 cm.

Długość każdej płytki została określona przez odległość dwóch powierzchni zwierciadlanych m_1, m_2, doskonale płaskich i równoległych (Rys. 4).



Rys. 4.



Rys. 5.

Michelson ustawiał na wózku *W* zwierciadło M_2 na lewo i płytkę *I* na prawo (Rys. 5). Wywoływał kontakt optyczny między *R* i m_1 (Rys. 5 str. prawa).

Oświetlał zwierciadło M_2 światłem czerwonym kadmu i obserwował pierścienie interferencyjne, które dają *P* i *R*. Następnie posuwał zwierciadło M_1 wzdłuż prowadnic *XX* przy pomocy śruby mikrometrycznej, przez co przesuwał płaszczyznę odniesienia *R*. Pierścienie interferencyjne w polu widzenia lunety *L* biegły do środka i można je było liczyć aż do chwili, gdy płaszczyzna odniesienia *R* zlała się z płaszczyzną m_2. W ten sposób Michelson otrzymał liczbę p_1 pierścieni, które przeszły w polu widzenia przy przesunięciu płaszczyzny *R* o długość *x* płytki *I*. Po dojściu płaszczyzny *R* do m_2 należy się upewnić czy został osiągnięty kontakt optyczny między *R* i m_2. Licz-

ba p_1 da długość x w zależności od długości fali λ' światła czerwonego kadmu: $x = (p_1 + \varepsilon') \frac{\lambda'}{2}$, gdzie ε' jest czynnikiem, który można określić z pomiaru promienia najmniejszego pierścienia. Trzeba zaznaczyć, że ścisłe obliczenie liczby p_1 jest bardzo trudne i uciążliwe. Dlatego też Benoît zastosował metodę, która pozwala dokładnie obliczyć długość x nawet przy pewnym błędzie w podaniu liczby p_1.

Powtarza się pomiary z dwoma innemi promieniowaniami kadmu: zielonym (λ'') i niebieskim (λ'''). W ten sposób otrzymamy trzy wartości na x.

$$x = (p_1 + \varepsilon') \frac{\lambda'}{2} = (p_2 + \varepsilon'') \frac{\lambda''}{2} = (p_3 + \varepsilon''') \frac{\lambda'''}{2}$$

ε', ε'', ε''' są znane, stosunki $\alpha = \frac{\lambda'}{\lambda''}$ i $\beta = \frac{\lambda'}{\lambda'''}$ są znane z bardzo wielką dokładnością, długość x jest znana z dokładnością do kilku mikronów, p_1, p_2, p_3 są znane z dokładnością do jednej lub dwóch jednostek.

Aby więc określić p_1, podstawia się zamiast p_1 wartość prawdopodobną, np. n. Jest $p_2 + \varepsilon'' = (p_1 + \varepsilon') \frac{\lambda'}{\lambda''} = (p_1 + \varepsilon') \alpha$; wielomian $(n + \varepsilon') \alpha$ powinien mieć, jako część ułamkową ε''. Tak samo wielomian $(n + \varepsilon') \beta$ powinien mieć, jako część ułamkową ε''', jeżeli n jest dobrane prawidłowo. W ten sposób poprawiając n o jedną lub dwie jednostki, określamy p_1 zupełnie ściśle. Wszystkie te pomiary pozwoliły określić z wielką dokładnością długość x pierwszej płytki przy pomocy długości fal świetlnych trzech promieniowań kadmu. Płytka II miała długość $2x + y$, gdzie y oznacza niewielką poprawkę, którą należało zmierzyć.

Płytka I została ustawiona na wózku W, płytka II — na stałej podstawie.

Sposób mierzenia, zastosowany przez Michelson'a i Benoît:

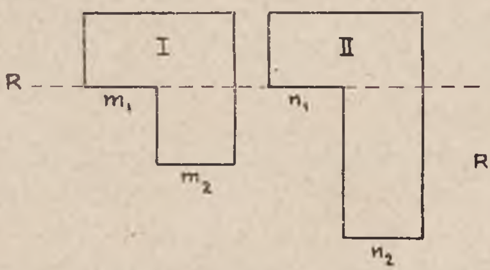
1°. Doprowadzono płaszczyznę R do kontaktu optycznego z powierzchniami m_1 i n_1 dwóch płytek I i II (Rys. 6).

2°. Następnie przesunięto płaszczyznę R do kontaktu z m_1 (Rys. 7).

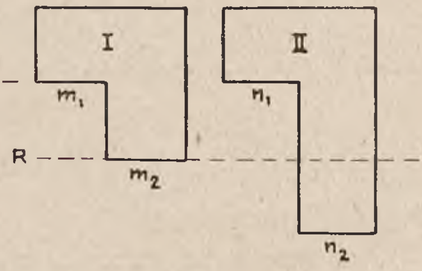
3°. Pozostawiając R na miejscu, przesunięto płytkę I do kontaktu z m_1 i R. W ten sposób przesunięto płytkę I dokładnie o jej długość x. Jeżeli płytka II posiadałaby długość dokładnie $2x$, powierzchnie m_2 i n_2 leżałyby w tej samej płaszczyźnie (Rys. 8). Zwykle odległość tych dwóch płaszczyzn wynosi małą wielkość y.

4°. Doprowadzono R do kontaktu z m_2. Jeżeli kontakt nie został osiągnięty z n_2, mierzono odległość y tak, jak się mierzy odległość x. W ten sposób długość płytki II określono jako $2x + y$, przy pomocy λ', λ'', λ''' Postępując tak samo, porównywano płytki II i III, III i IV i t. d., aż do płytki 10 cm.

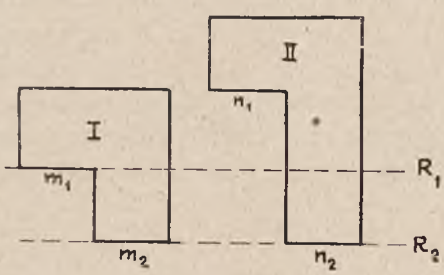
Tak została określona długość płytki 10 cm w zależności od długości fal λ', λ'', λ''', trzech promieniowań kadmu.



Rys. 6.



Rys. 7.



Rys. 8.

Płytka 10 cm posiadała bardzo cienką rysę, którą, przy pomocy mikroskopu, można było doprowadzić do przedłużenia jednej z rysek metra wzorcowego. Porównanie płytki 10 cm z metrem wzorcowym przeprowadzono w następujący sposób:

1°. Przy pomocy dokładnego mikroskopu ustawiono kreskę płytki 10 cm na przedłużeniu pierwszej rysy metra wzorcowego.

2°. Stosując metodę, wyżej opisaną, kontaktów optycznych, przesunięto płytkę 10 cm wzdłuż metra wzorcowego o 10 długości tej płytki.

3°. W ten sposób kreska płytki 10 cm znalazła się prawie na przedłużeniu 2-ej rysy metra wzorcowego. Nastawiono obydwie rysy na jednej linji przy pomocy mikroskopu i zmierzono metodą optyczną niewielkie przesunięcie, które z tego wynikło. W ten sposób Mi-

chelson i Benoît otrzymali metr wzorcowy, jako funkcję długości fal świetlnych.

Wynik przedstawia się jak następuje:

Długość fali czerwonej kadmu $\lambda' = 0,\mu\,64384696$
„ „ zielonej „ $\lambda'' = 0,\mu\,50858220$
„ „ niebieskiej „ $\lambda''' = 0,\mu\,47999088$

Nieco później Benoît, Fabry i Pérot zmierzyli ponownie metr wzorcowy przy pomocy długości fali czerwonego promieniowania kadmu metodą interferencji, różną nieco od metody Michelson'a. Do tych pomiarów zostało wykonanych 5 płytek wzorcowych z powierzchniami zwierciadlanemi, lekko srebrzonemi.

Szczegółowe dane, dotyczące pomiarów Benoît, Fabry i Pérot można znaleźć w „Travaux et Mémoires du Bureau International des Poids et Mesures, t. XV".

Pomiary te dały liczby prawie te same, jakie otrzymał Michelson. Dzisiaj możemy przyjąć, że metr wzorcowy odpowiada

1553163,5 długości fali promieniowania czerwonego kadmu
1966249,7 „ „ „ zielonego „
2083372,1 „ „ „ niebieskiego „

Metr więc został zmierzony z dokładnością do jednej dziesiątej części fali promieniowania czerwonego kadmu. Obecnie długość tej fali stanowi prawdziwy wzorzec i określa nową jednostkę długości, angström'a.

Angström (Å) stanowi jednostkę długości, określoną jak następuje:

Promieniowanie czerwone, wysyłane przez lampkę elektrodową z parą kadmu, ma długość fali w powietrzu suchem przy 15° C. pod ciśnieniem normalnem:

6438,4696 angström'ów (Å)

Metr więc jest określony z dokładnością prawie do 644 angström'ów, czyli do jednej dziesięciomiljonowej części.

Jeżeliby rzeczywista długość płytki odpowiadała ściśle długości nominalnej, równej jednemu metrowi, to powinna być wykonana z dokładnością przynajmniej do 10^{-7} m.

Z tego wynika, że płytka, mająca długość ściśle równą jednemu milimetrowi, powinna być wykonana z dokładnością przynajmniej do 0, μ 0001. Jasnem się teraz stanie, dlaczego w praktyce nigdy nie spotykamy płytek, któreby ściśle odpowiadały swym nominalnym wartościom. Tolerancje tych płytek musiałyby być tak małe, że wprost

nieprawdopodobną jest rzeczą, aby je można było osiągnąć. Jeżeli przez T oznaczymy tolerancję płytek, przez d ich długość w milimetrach, to następujące równanie określi zależność tolerancji płytek, ściśle równych swej nominalnej wartości, od ich długości:

$$T \pm d \,.\, 10^{-7}$$

Tolerancja ta odpowiadałaby płytkom idealnym. Zmienia się ona w sposób ciągły ze zmianą długości płytki. W wykresie tolerancję T przedstawiłoby pole zawarte między dwoma prostemi, symetrycznemi względem osi d, nachylonemi do tej osi pod kątem arc. tg 10^{-7} i przechodzącemi przez początek układu.

Dokładność płytek Johansson'a różni się od dokładności płytek idealnych. Różnica ta jest tem mniejsza im płytka jest wyższej kategorji.

Płytki Johansson'a są wykonane ze stali specjalnej, podlegają więc zmianie swych wymiarów przy zmianie temperatury. Spółczynnik rozszerzalności linjowej materjału, z którego są wykonane płytki, wynosi około 11,5 . 10^{-6} Zasadniczy swój wymiar płytka Johansson'a posiada przy 20° C. Francuzi dla zasadniczych wymiarów stosują przeważnie temperaturę 0° C., lecz jest to o tyle niewygodne, że w normalnych warunkach nie spotykamy się z taką temperaturą w laboratorjach lub warsztatach. Niech płytka Johansson'a, o nominalnym wymiarze a, posiada rzeczywisty wymiar b w temperaturze 20° C.

Oznaczymy:

$$(a - b) = \Delta$$

Każda kategorja płytek Johansson'a (Z) posiada, dobrane odpowiednio do długości, liczby T, które określają tolerancje płytek. Liczba T jest więc w danej kategorji płytek funkcją długości $x : T = f_z\ (x)$. Jeżeli dana płytka ma należeć do kategorji (Z_1) musi spełniać warunek:

$\Delta \leqslant T_1$, gdzie $T_1 = f_{z_1}\ (x)$ i jest liczbą określoną dla danej długości płytki.

Liczba Δ jest pod względem znaku wartością bezwzględną, zatem płytka musi spełniać warunek:

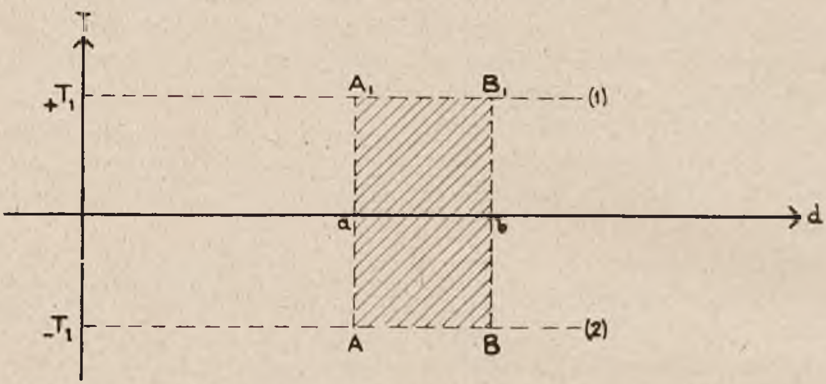
$$-T_1 \leqslant a - b \leqslant + T_1$$

Szczegółowe tolerancje kategoryj płytek Johansson'a są zwykle podane w katalogach firmy. Johansson podaje pewną stałą tolerancję dla danego przedziału długości płytek (a, b).

Niech ta tolerancja będzie liczbą T_1. W układzie prostokątnym

wykreślmy dwie proste, określone równaniami: $Y = + T_1 \ldots (1)$; $Y = - T_1 \ldots (2)$.

Przestrzeń, zawartą między prostemi (1) i (2) w przedziale (a, b), nazywamy polem tolerancji. Pole tolerancji przedstawi się jako prostokąt AA_1B_1B (rys. 9). Tabele tolerancji podają liczby T dla każdego przedziału (a, b) długości płytek danej kategorji. Oznaczmy liczby T punktami w układzie spółrzędnych i połączmy te punkty odcinkami prostych. W ten sposób otrzymamy krzywą, którą nazwijmy krzywą tolerancji. Krzywa tolerancji stanowi wytyczną dla prostokątów pól tolerancji danej kategorji płytek.



Rys. 9.

Poniżej zajmiemy się szczegółowemi rozważaniami nad tolerancjami czterech kategoryj płytek Johansson'a.

ROZDZIAŁ I.

Tabele tolerancyj według „Johansson Präzisionswerkzeuge". Katalog Nr. 10.

1. PŁYTKI WARSZTATOWE, WYKONANIE „C".

A. *Tolerancje podane.*

Tabela tolerancji „C"

d	± T	d	± T	d	± T	d	± T	d	± T
20	0.0002	40	0 0003	100	0.0008	175	0.0014	300	0.0024
25	0.0002	50	0.0004	125	0.001	200	0.0016	400	0.0032
30	0.0003	75	0.0006	150	0.0012	250	0.002	500	0.004

Według tabeli kreślimy krzywą tolerancji (rys. 10), oznaczając długość płytki przez *d*, tolerancję jej wykonania przez *T*.

B. *Charakter krzywej tolerancji.*

Zbadajmy stosunek $\eta = \left| \frac{T_2 - T_1}{d_2 - d_1} \right|$

Tabela stosunku η

d	η	d	η	d	η	d	η	d	η
20	—	40	$6{,}6.10^{-6}$	100	8.10^{-6}	175	8.10^{-6}	300	8.10^{-6}
25	8.10^{-6}	50	10.10^{-6}	125	8.10^{-6}	200	8.10^{-6}	400	8.10^{-6}
30	—	75	8.10^{-6}	150	8.10^{-6}	250	8.10^{-6}	500	8.10^{-6}

Spółczynnik η od punktu $d = 50$ zachowuje ściśle stałą wartość $8 . 10^{-6}$, wobec tego krzywą tolerancji *C* od punktu $d = 50$ możemy określić jako dwie proste, nachylone do osi *d* pod kątem arc. tg $\pm 8 . 10^{-6}$

Poniżej punktu $d = 50$ spółczynnik η odchyla się od wartości $8 . 10^{-6}$. Zmiana stosunku η, tam gdzie ona zachodzi, nie przebiega w określonym kierunku ze zmianą *d*, dlatego możemy przyjąć, że płynie ona jedynie z pewnych zaokrągleń, jakie zostały poczynione w tabeli tolerancji „C". Aby sprawdzić to ściśle, zbadajmy błąd, jaki daje zaokrąglenie tolerancji o $1 . 10^{-5}$ na przestrzeni $d_2 - d_1 = 10$ w stosunku η. Błąd oznaczmy przez Δ.

$\eta = \left| \frac{T_2 - T_1}{d_2 - d_1} \right|$ Z teorji błędów wiadomo, że $\left| \frac{\vartheta \eta}{\vartheta T} \right| \Delta T$

$$\text{z tego } \Delta \eta = \left| \frac{1}{d_2 - d_1} \right| \Delta T_2 + \left| \frac{1}{d_2 - d_1} \right| \Delta T_1 =$$

$$\left| \frac{1}{d_2 - d_1} \right| \left(\Delta T_2 + \Delta T_1 \right)$$

Jeżeli suma zaokrągleń dwóch sąsiednich tolerancyj na przestrzeni $d_2 - d_1 = 10$ nie przekroczy 10^{-5}, to $\Delta\eta = \frac{1}{10} \cdot 10^{-5} = 10^{-6}$

Tabela tolerancji „C" podaje wartości *T* z dokładnością do czwartego znaku, zatem możliwe są w niej zaokrąglenia, dochodzące do 5.10^{-5} przy każdej podanej tolerancji. Przyjmijmy, że suma zaokrą-

gleń w dwóch sąsiednich tolerancjach tabeli „C" nie przekracza $5 \,.\, 10^{-5}$, wtedy błąd $\Delta\eta$ może dochodzić do 5.10^{-6}

Tabela stosunku η podaje ten stosunek z dokładnością do 10^{-7} przyczem cyfra znacząca znajduje się dopiero w szóstym znaku dziesiętnym. Widzimy więc, że zaokrąglenie łączne tolerancyj T_1 i T_1 o 5.10^{-5} już w szóstym znaku dziesiętnym stosunku η daje błąd, dochodzący do 50%. Odchylenia stosunku η od średniej wartości 8.10^{-6} nigdzie nie przekraczają granicy tego błędu, możemy więc z całą pewnością powiedzieć, że tam, gdzie te odchylenia występują, płyną one tylko z zaokrągleń tolerancyj do 4 znaku dziesiętnego i żadnego poważniejszego znaczenia nie mają. Z tych rozważań wynika, że krzywą tolerancji „C" na całej długości d możemy określić jako dwie proste, nachylone do osi d pod kątem arc. tg $\pm\, 8.10^{-6}$.

Równanie prostych będzie jednocześnie równaniem tolerancji „C".

C. *Równanie tolerancji „C".*

$$T = \pm\, 8.10^{-6}\, d \;.\;.\;.\;.\;.\;. \quad (C)$$

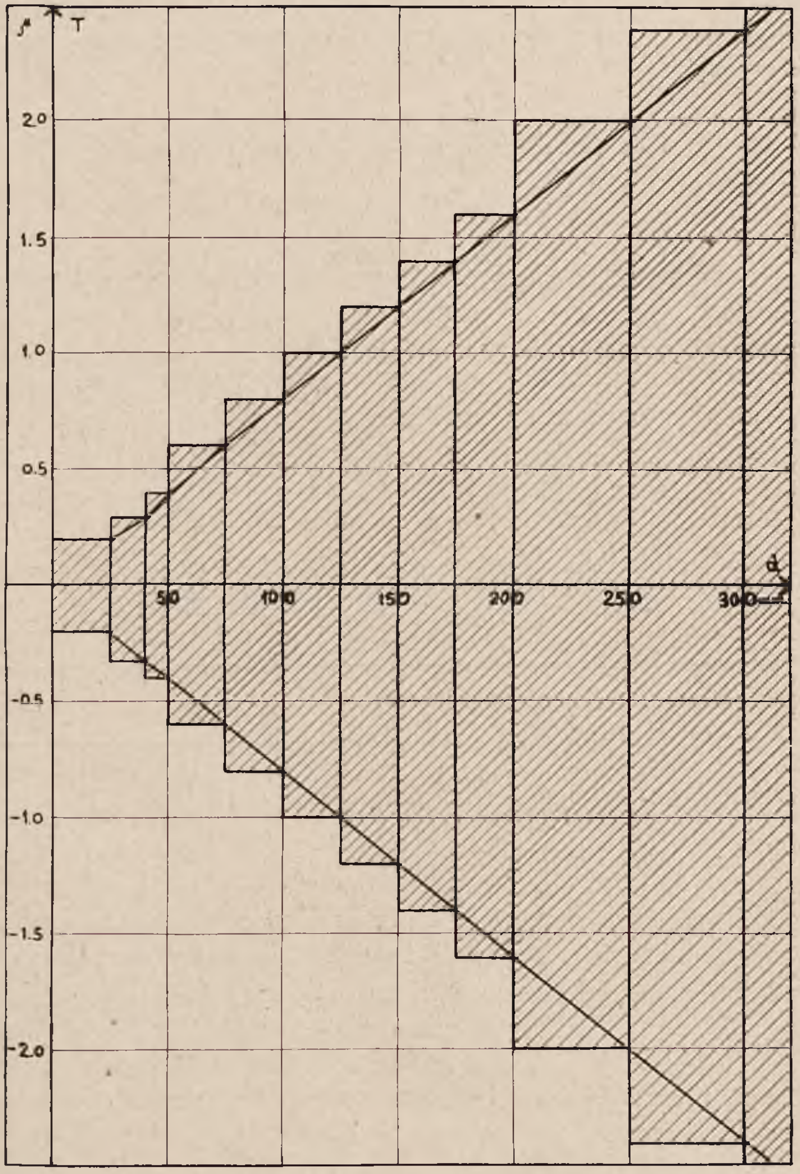
Według równania tolerancji (*C*) możemy wyliczyć tolerancję *T* dla każdej długości płytki *d*.

Tabela porównawcza tolerancyj podanych i wyliczonych z równania (C):

d	± T podana	± T. wylicz.	d	± T podana	± T wylicz.	d	± T podana	± T wylicz.
20	0.0002	0.00016	100	0.0008	0.0008	300	0.0024	0.0024
25	0.0002	0.0002	125	0.001	0.001	400	0.0032	0.0032
30	0.0003	0.00024	150	0.0012	0.0012	500	0.004	0.004
40	0.0003	0.00032	175	0.0014	0.0014			
50	0.0004	0.0004	200	0.0016	0.0016			
75	0.0006	0.0006	250	0.002	0.002			

Widzimy więc, że tolerancje wyliczone według równania (*C*), począwszy od punktu $d = 40$, zupełnie ściśle odpowiadają tolerancjom podanym przez Johansson'a. Jeżeli uwzględnimy zaokrąglenia piątego znaku tolerancji dla długości mniejszych od 40 mm, oraz zastosowanie pewnej stałej tolerancji dla długości bardzo małych, to możemy zupełnie pewnie uważać podane przez nas równanie toleran-

cji (*C*) za wytyczną rzeczywiście stosowanych tolerancyj przez Johansson'a przy wyrobie płytek warsztatowych „C". Równanie tolerancji (*C*) podaje zmianę tolerancji w sposób ciągły ze zmianą długości płytki *d*. W praktyce trzymanie się ściśle tolerancyj, podanych przez równanie, byłoby zbyt uciążliwe, gdyż każdej długości płytki



Rys. 10.

odpowiadałaby inna tolerancja. Dlatego też przy wyrobie płytek Johansson stosuje pewne stałe tolerancje dla określonego przedziału długości płytek, wskutek tego, tolerancja zmienia się nie w sposób ciągły, lecz skokami. Tolerancję w punktach przeskoku określa jednak dość dokładnie równanie (*C*). Rysunek 10 podaje tolerancje rzeczywiście stosowane przez prostokąty zakreskowane. Krzywa wykresu daje obraz wytycznej na podstawie której są zbudowane prostokąty tolerancyj.

2. PŁYTKI NORMALNE, WYKONANIE „B".

A. *Tolerancje podane.*

Tabela tolerancji „B"

d	± T	d	± T	d	± T	d	± T	d	± T
20	0.00015	40	0 0002	100	0.00055	175	0.00095	300	0.0017
25	0.00015	50	0.00025	125	0.00065	200	0.0011	400	0.0022
30	0.0002	75	0.0004	150	0.0008	250	0.0014	500	0.0027

Według tabeli kreślimy krzywą tolerancji „B". (rys. 11).

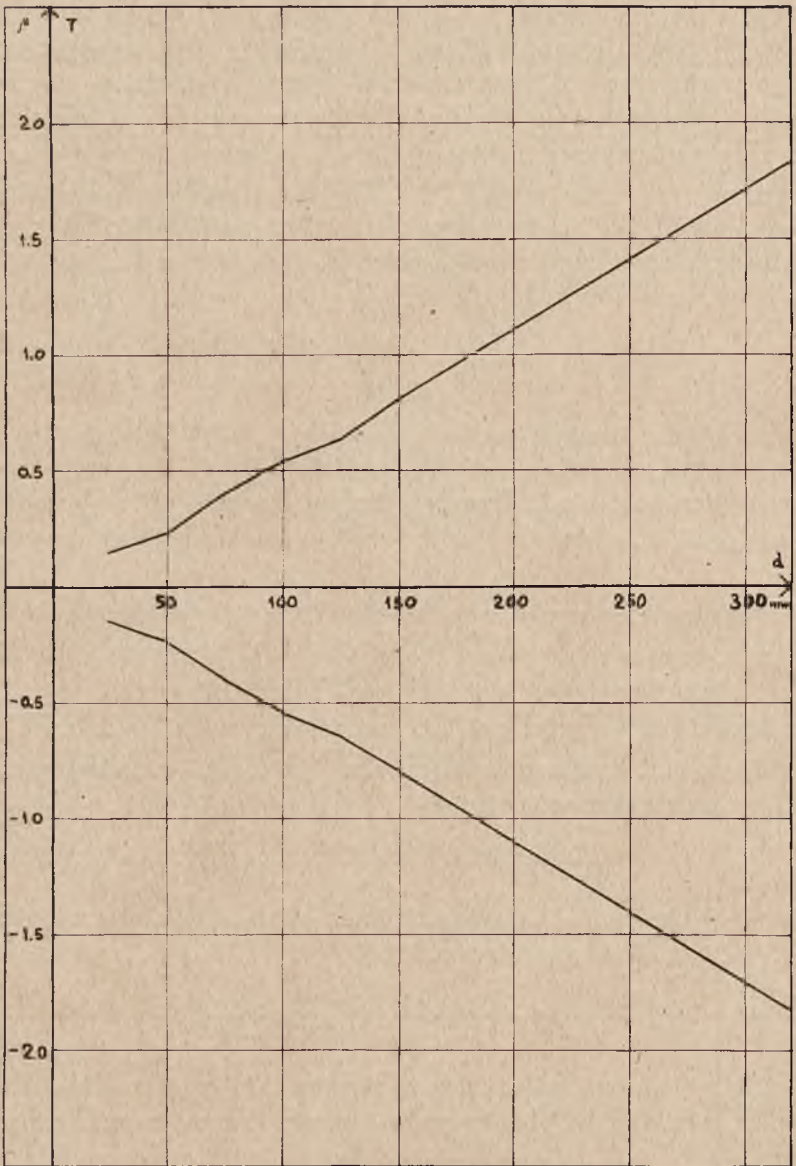
B. *Charakter krzywej tolerancji „B".*

Tabela stosunku η.

d	η	d	η	d	η	d	η	d	η
20	—	40	$3{,}3.10^{-6}$	100	6.10^{-6}	175	6.10^{-6}	300	6.10^{-6}
25	6.10^{-6}	50	5.10^{-6}	125	4.10^{-6}	200	6.10^{-6}	400	5.10^{-6}
30	—	75	6.10^{-6}	150	6.10^{-6}	250	6.10^{-6}	500	5.10^{-6}

Stosunek η nie zachowuje ściśle określonej wartości; nie zmienia się również w sposób określony stale, jeżeli weźmiemy pod uwagę cały przedział podanych wartości *d*. Zmiany η są wahaniami około stałej wartości $5{,}5.10^{-6}$. Stały charakter zmian widzimy tylko od punktu $d = 40$ do punktu $d = 75$, mianowicie w tym przedziale η rośnie ze wzrostem *d*, a zatem pomiędzy temi punktami możemy przypuszczać, że krzywa tolerancji jest krzywą wyższego rzędu. Należałoby więc zbadać stosunek $\delta = \left| \frac{\eta_2 - \eta_1}{d_2 - d_1} \right|$ w przedziale $d = 40$, $d = 75$.

Jeżeli jednak zważymy, że przedział ten podaje nam tylko trzy punkty, z których dwa skrajne mogą nie leżeć już na krzywej dru-



Rys. 11.

giego rzędu, to przekonamy się, że postępowanie, wyżej wskazane, jakkolwiek ścisłe, nie nadaje się do zastosowania w danym wypadku.

Dlatego też przedewszystkiem przypuśćmy, że odchylenia stosunku η od średniej wartości $5{,}5.10^{-6}$ płyną z zaokrągleń tolerancyj podanych do 5-go znaku dziesiętnego, i sprawdźmy, czy odchylenia te leżą w granicy błędu, płynącego z tych zaokrągleń. Tabela tolerancji „B", podaje wartości z dokładnością do 5-go znaku, przyczem wyraźnie widać, że w piątym znaku, o ile taki istnieje, występuje zawsze liczba 5. Zaokrąglenia więc tak są dobierane, ażeby najdrobniejszy skok tolerancyj nie był niższy niż 5.10^{-5}. Załóżmy, że zaokrąglenia tolerancyj sąsiednich T_2 i T_1 nie przekraczają 5.10^{-5}, czyli są tak dobrane, że błąd łączny w sąsiednich wartościach T_2 i T_1 nie przekracza 5.10^{-5}. Błąd oznaczamy przez Δ. Wtedy $(\Delta T_2 + \Delta T_1) = 5.10^{-5}$; $d_2 - d_1 = 10$.

$$\Delta\eta = \left|\frac{1}{d_2 - d_1}\right| (\Delta T_2 + \Delta T_1) = 5.10^{-6}.$$

Jeżeli jako średnią wartość stosunku η przyjmiemy $5{,}5.10^{-6}$, to odchylenia od tej średniej wartości nigdzie w tabeli nie przenoszą powyżej wyliczonego błędu. Trzeba pamiętać, że błąd jest obliczony dla $d_2 - d_1 = 10$, i że błąd ten jest odwrotnie proporcjonalny do różnicy $(d_2 - d_1)$.

Przy założeniu więc, że tolerancje T_2, T_1 tak tylko mogą być zaokrąglane, że odchylenia łączne ich wartości nie przenoszą 5.10^{-5}, możemy przyjąć, że stosunek $\eta = 5{,}5.10^{-6}$.

Wtedy krzywą tolerancji „B" możemy określić, jako dwie proste nachylone do osi d pod kątem arc. tg $\pm 5{,}5.10^{-6}$. Równanie prostych można napisać w postaci:

$$T = \pm 5{,}5.10^{-6}\, d \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (B)$$

przyjmując, że prosta przechodzi przez początek układu współrzędnych. Jest to równanie tolerancji „B".

C. *Równanie tolerancji „B".*

Według równania (B) możemy wyliczyć tolerancję T dla każdej długości płytki d. Tolerancja ta zmienia się w sposób ciągły ze zmianą d.

Widzimy z tabelki, że tolerancje wyliczone z równania (B), o ile uwzględnimy zaokrąglenia, dobrane w ten sposób, aby najmniejszy skok tolerancji w tabeli nie był niższy od 5.10^{-5}, odpowiadają tolerancjom podanym. Ogólne uwagi punktu 1 C należy odnieść i do te-

go punktu. Rysunek 11 podaje tylko zasadniczą krzywą. Prostokąty tolerancyj nie są na nim oznaczone.

Tabela tolerancyj podanych i wyliczonych z równania (B)

d	T podan.	T wylicz.	d	T podan.	T wylicz.	d	T podan.	T wylicz.
20	0.00015	0.00011	100	0.00055	0.00055	300	0.0017	0.00165
25	0.00015	0.000137	125	0.00065	0,000687	400	0.0022	0.0022
30	0.0002	0.000165	150	0.0008	0 000825	500	0.0027	0.00275
40	0.0002	0.00022	175	0.00095	0.000962			
50	0.00025	0.000275	200	0.0011	0.0011			
75	0.0004	0.000412	250	0.0014	0.00137			

3. PŁYTKI NORMALNE, WYKONANIE A.

A. *Tolerancje podane.*

Tabela tolerancji A.

d	± T	d	± T	d	± T	d	± T	d	± T
20	0.00008	40	0.00012	100	0.0003	175	0.00052	300	0.0009
25	0.00009	50	0.00015	125	0.00037	200	0.0006	400	0.0012
30	0.0001	75	0.00022	150	0.00045	250	0.00075	500	0.0015

Według tabeli kreślimy krzywą tolerancji na rys. 12.

B. *Charakter krzywej tolerancji.*

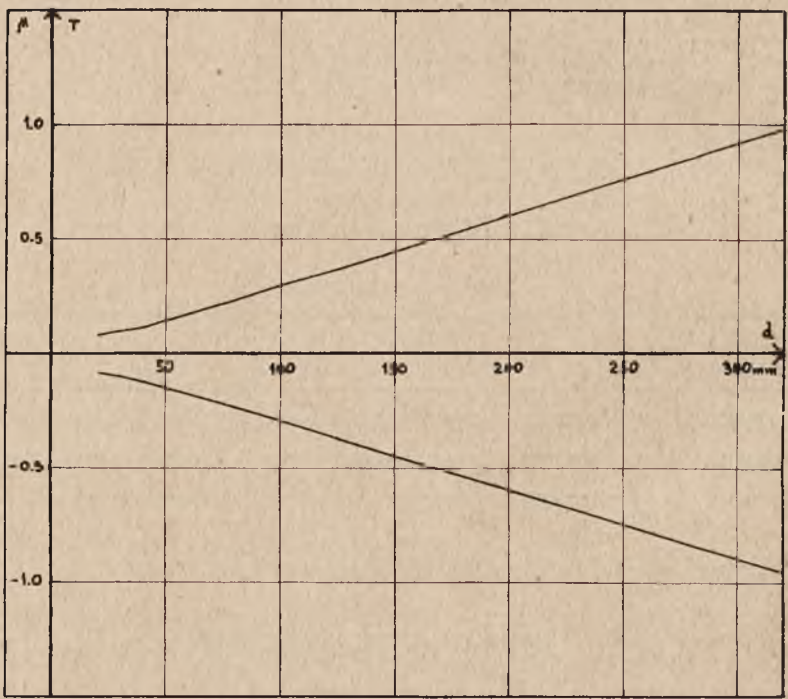
Tabela stosunku η.

d	η	d	η	d	η	d	η	d	η
20	4.10^{-6}	40	2.10^{-6}	100	$3,2.10^{-6}$	175	$2,8.10^{-6}$	400	3.10^{-6}
25	2.10^{-6}	50	3.10^{-6}	125	$2,8.10^{-6}$	200	$3,2.10^{-6}$	400	3.10^{-6}
30	2.10^{-6}	75	$2,8.10^{-6}$	150	$3,2.10^{-6}$	250	3.10^{-6}	500	3.10^{-6}

Stosunek η na całej długości *d* waha się około stałej wartości 3.10^{-6}, którą możemy przyjąć jako srednią wartość tego stosunku. Do

punktu $d = 20$, $\eta = 4.10^{-6}$, czyli krzywa tolerancji może być określona jako dwie proste nachylone do osi d pod kątem art. tg $\pm$ 4.10^{-6} i przechodzące przez początek układu. Od punktu $d = 20$ do punktu $d = 40$, η zachowuje stałą wartość 2.10^{-6} i określa w tym przedziale krzywą tolerancji jako dwie proste, nachylone do osi d pod kątem arc. tg $\pm$ 2.10^{-6}. Proste te jednak przechodzą jedna powyżej, druga poniżej początku układu o wartość $b = 8.10^{-5} - 20$ tg. arc. tg. $2.10^{-6} = 8.10^{-5} - 4.10^{-5} = 4.10^{-5}$.

Od punktu $d = 40$ do punktu $d = 200$ następują stałe zmiany stosunku w granicach $2{,}8.10^{-6}$, $3{,}2.10^{-6}$. Zmiany te nie odbywają się stale



RYS. 12.

w jednym kierunku wraz ze wzrostem d, lecz stosunek η kolejno przybiera graniczne wartości, symetryczne względem wartości 3.10^{-6}. Od punktu $d = 200$ stosunek η ściśle i stale zachowuje wartość 3.10^{-6}, możemy więc przyjąć, że od tego punktu krzywa tolerancji „A" składa się z dwóch prostych, nachylonych pod kątem arc. tg. $\pm 3.10^{-6}$ do osi d i przechodzących przez początek układu. W ten sam sposób możemy określić krzywą w przedziale $d = 40$, $d = 200$. Ogółem więc

równanie tolerancji „A" składać się będzie z równań trzech par symetrycznych prostych, z których każde jest ważne w swoim przedziale.

$T = \pm 4.10^{-6}\, d_{(0,20)}$ . . . . (A_1)

$T = \pm 2.10^{-6}\, d_{(20,40)} \pm 4.10^{-5}$ . . . . . . (A_2)

$T = \pm 3.10^{-6}\, d_{(40,500)}$ . . . . (A_3)

Równanie (A_3) jest ważne w najdłuższym przedziale.

Tabela tolerancji „A" podaje liczby, obliczone do 5-go znaku dziesiętnego, możliwe więc są w niej zaokrąglenia, dochodzące do 5.10^{-6}. Widzimy, że do punktu $d = 40$ stosunek η odchyla się średnio w obydwie strony o 1.10^{-6}. Zbadajmy błąd stosunku η jaki może wyniknąć z zaokrągleń w tabeli tolerancji „A", przyczem załóżmy, że zaokrąglenia mogą być tak wielkie, jak tylko na to pozwala tabela tolerancji „A". Przy takiem założeniu każda z podanych tolerancyj w tabeli może być tak dobrana, aby błąd nie przenosił 5.10^{-6}. Zatem $\Delta T_2 + \Delta T_1 = 10^{-5}$. Wtedy dla przedziału $d_2 - d_1 = 10$ mamy:

$$\Delta \eta = \frac{1}{10} \cdot 10^{-5} = 10^{-6}.$$

Widzimy więc, że odchylenia stosunku η od średniej wartości 3.10^{-6}, jeżeli pominiemy punkt $d = 20$, w żadnym innym wypadku nie przenoszą obliczonego błędu $\Delta \eta$. Trzeba przytem pamiętać, że błąd $\Delta \eta$ był obliczony dla $d_2 - d_1 = 10$, i że ten błąd jest odwrotnie proporcjonalny do różnicy $(d_2 - d_1)$.

Począwszy od punktu $d = 40$ odchylenia stosunku η od średniej wartości 3.10^{-6} są bardzo małe. W punkcie $d = 20$ przy wyżej przyjętych zaokrągleniach tolerancji, błąd $\Delta \eta = \frac{1}{20} \cdot 10^{-5} = 5.10^{-7}$, gdy odchylenie stosunku η od średniej wartości wynosi 10^{-6}. Jeżeli jednak zważymy, że w przedziale $d = 0$, $d = 40$ niema ściśle określonej zmiany stosunku η wraz ze zmianą d, że zmiany te odbywają się skokami i są symetrycznie rozłożone koło średniej wartości 3.10^{-6}, i jeżeli chcemy jednak w tym całym przedziale dojść do ogólnej formuły matematycznej, to wypadnie nam jedynie przyjąć jako średnią wartość stosunku η, wartość 3.10^{-6}. Opierając się na powyższych rozważaniach możemy śmiało określić całą krzywą tolerancji, jako dwie proste, nachylone do osi d pod kątem arc. tg. $\pm 3.10^{-6}$ i przechodzące przez początek układu. Prosta ta z pewną dokładnością określi nam tolerancje, podane w tabeli „A", wzdłuż całego przedziału długości płytek d.

Równanie krzywej tolerancji „A" przybierze wtedy postać:

$$T = 3.10^{-6}\, d \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (A)$$

Jeżeli zrezygnujemy z ogólnej formuły matematycznej na równanie krzywej tolerancji „A", a zato chcemy otrzymać mniejsze odchylenia od tolerancyj podanych w przedziale małych długości płytek (0,40), to wypadnie nam przyjąć krzywą tolerancji, jako krzywą, określoną przez trzy wyżej podane równania: (A_1), (A_2) i (A_3).

Jeżeli chodzi o ogólniejsze rozważania, wystarczy przyjąć krzywą tolerancji wykonania płytek Johansson'a „A", jako krzywą, określoną ogólnem równaniem (A).

C. *Równania tolerancji „A".*

Równania, wyżej wyprowadzone, po wyliczeniu dadzą dość dokładnie tolerancję podaną przez Johansson'a dla płytek *A*.

Opierając się na tych równaniach możemy obliczyć tolerancję *T* dla każdej długości płytki *d*.

Tabela tolerancyj podanych i wyliczonych z równania (*A*):

d	± T pod.	± T wyl.	d	± T pod.	± T wyl.	d	± T pod.	± T wyl.
20	0 00008	0.00006	100	0.0003	0.0003	300	0.0009	0.0009
25	0.00009	0.000075	125	0.00037	0.000375	400	0.0012	0.0012
30	0.0001	0.00009	150	0.00045	0.00045	500	0.0015	0 0015
40	0.00012	0.00012	175	0.00052	0,000525			
50	0.00015	0.00015	200	0.0006	0.0006			
75	0.00022	0.000225	250	0.00075	0.00075			

Widzimy, że od punktu $d = 40$ tolerancje, wyliczone w granicy zaokrągleń 6 znaku dziesiętnego ,zupełnie odpowiadają tolerancjom podanym. Do punktu $d = 40$ odchylenia dochodzą do 2.10^{-5}, zatem są dość duże, lecz ze względu na niewielki przedział, w jakim te odchylenia zachodzą, mogą one być, jeżeli chodzi o ogólniejsze rozważania, nie brane w rachubę. Gdy chodzi specjalnie o małe długości płytek, to musimy zwrócić się do równań A_1, A_2, A_3, według których wyliczamy tolerancje dla każdej długości płytek.

Tabela tolerancyj, podanych i wyliczonych z równań: A_1, A_2, A_3.

d	± T pod.	± T wyl.	d	± T pod.	± T wyl.	d	± T pod.	± T wyl.
20	0.00008	0.00008	100	0.0003	0.0003	300	0.0009	0.0009
25	0.00009	0.00009	125	0.00037	0.000375	400	0.0012	0.0012
30	0.0001	0.0001	150	0.00045	0.00045	500	0 0015	0.0015
40	0.00012	0.00012	175	0.00052	0,000525			
50	0.00015	0.00015	200	0.0006	0.0006			
75	0.00022	0.000225	250	0.00075	0.00075			

Tabela ta wykazuje zupełną zgodność pomiędzy tolerancjami podanemi i wyliczonemi. Ogólne uwagi punktu 1 *C* odnoszą się i do tego punktu.

Rysunek 12 podaje tylko zasadniczą krzywą tolerancji nie oznaczając prostokątów.

4. *Porównanie tolerancyj płytek Johansson'a według kategoryj A, B i C.*

A. *Równania ogólne tolerancyj A, B i C.*

$T = \pm 3.10^{-6}$ d . . . . (*A*)
$T - \pm 5{,}5.10^{-6}$ d . . . . . . (*B*)
$T = \pm 8.10^{-6}$ d. . . . . (*C*)

Zbadajmy wzajemny stosunek tych równań.

B. *Wzajemny stosunek równań tolerancyj A, B i C.*

Z równań tolerancyj płytek Johansson'a widzimy, że spółczynnik przy zmiennej *d* zmienia się w sposób określony, jeżeli będziemy przechodzili kolejno od jednego równania do drugiego.

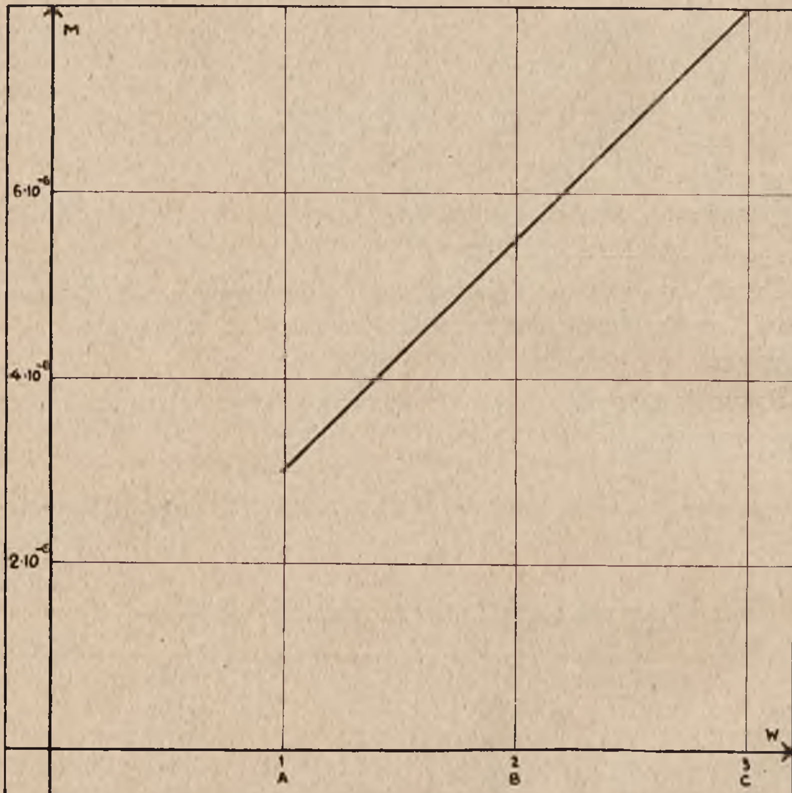
W miarę zwiększania się dokładności wyrobu płytek spółczynnik przy *d* zmniejsza się stale o $2{,}5.10^{-6}$. Przejście więc od jednej kategorji wykonania płytek do drugiej odbywa się planowo, według pewnego prawa.

Zbadajmy prawo jakie tu rządzi.

W tym celu oznaczmy przez jednostkę odstęp pomiędzy wykonaniami sąsiednich kategoryj płytek. Wtedy możemy wykreślić krzywą,

która będzie nam charakteryzowała zmianę spółczynnika tolerancji (spółczynnik przy *d*) w miarę zwiększania stopnia dokładności.

Wykres taki wykonujemy na rys. 13.



Rys. 13.

Wykres ten będzie przebiegał według tabeli, w której spółczynnik tolerancji oznaczmy przez *M*, przejście od jednej dokładności do następnej przez 1, przyczem niech dokładności *A* odpowiada 1, *B*—2. *C*—3. Oznaczmy wykonanie płytek przez *W*, wtedy *W*=1, albo 2, albo 3.

Tabela zależności spółczynnika tolerancji *M* od stopnia wykonania *W*.

W		± M	W		± M	W		± M
A	1	3.10^{-6}	B	2	$5{,}5.10^{-6}$	C	3	8.10^{-6}

C. *Charakter krzywej zależności M od W.*

Oznaczmy stosunek $\beta = \left| \frac{M_2 - M_1}{W_2 - W_1} \right|$

Tabela stosunku β

	W	β		W	β		W	β
A	1	—	B	2	$2{,}5.10^{-6}$	C	3	$2{,}5.10^{-6}$

Widzimy, że stosunek β zachowuje stale wartość $2{,}5.10^{-6}$, możemy więc określić krzywą zależności (M, W), jako krzywą, złożoną z dwóch prostych, nachylonych do osi *W* pod kątem arc. tg. $\pm 2{,}5.10^{-6}$. Jedna prosta przechodzi powyżej, druga poniżej początku układu współrzędnych o wartość $b = 8.10^{-6} - 3$ tg. arc. tg. $2{,}5.10^{-6} = 8.10^{-6} - 7{,}5.10^{-6} = 0{,}5.10^{-6}$.

Równanie prostych można napisać w postaci:

$$M = \pm 2{,}5.10^{-6} \, . \, W \pm 0{,}5.10^{-6}$$

Równanie to pozwala nam podać formułę matematyczną tolerancji płytek Johansson'a dla każdej dokładności wykonania *A, B* i *C*; wystarczy tylko podstawić zamiast *W* — odpowiednio 1, 2 lub 3

5. *Płytki normalne wykonanie AA.*

A. *Tolerancje podane.*

Tabela tolerancji *„AA“:*

d	± T	d	± T	d	± T	d	± T	d	± T
20	0.000045	40	0.000065	100	0.00016	175	0,00028	300	0.00048
25	0.00005	50	0,00008	125	0.0002	200	0.00032	400	0.00064
30	0.000055	75	0.00012	150	0,00024	250	0.0004	500	0.0008

Według tabeli kreślimy krzywą tolerancji *„AA“* (rys. 14).

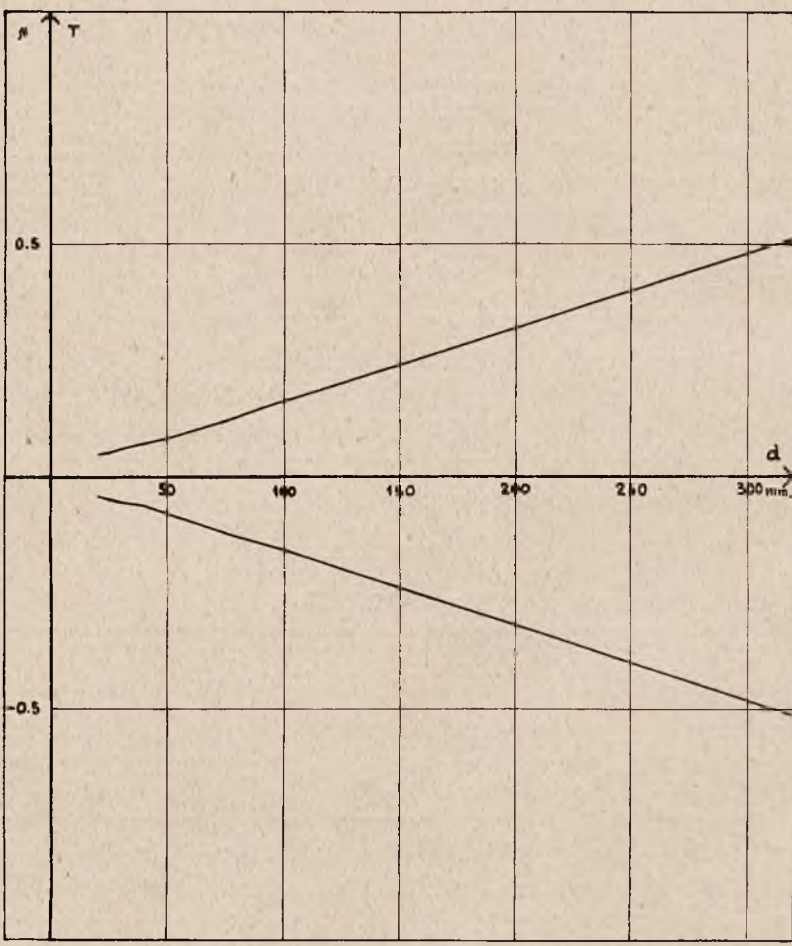
B. *Charakter krzywej tolerancji „AA“.*

Tabela stosunku η

d	η	d	η	d	η	d	η	d	η
20	$2{,}2.10^{-6}$	40	1.10^{-6}	100	$1{,}6.10^{-6}$	175	$1{,}6.10^{-6}$	300	$1{,}6.10^{-6}$
25	1.10^{-6}	50	$1{,}5.10^{-6}$	125	$1{,}6.10^{-6}$	200	$1{,}6.10^{-6}$	400	$1{,}6.10^{-6}$
30	1.10^{-6}	75	$1{,}6.10^{-6}$	150	$1{,}6.10^{-6}$	250	$1{,}6.10^{-6}$	500	$1{,}6.10^{-6}$

Stosunek η począwszy od punktu $d = 50$ stale zachowuje wartość $1{,}6.10^{-6}$. Do punktu $d = 50$ stosunek zmienia się naogół w sposób symetryczny względem wartości $1{,}6.10^{-6}$.

Do punktu $d = 20$, krzywą tolerancji możemy określić jako krzywą, złożoną z dwóch prostych, nachylonych do osi d pod kątem arc tg. $\pm 2{,}2.10^{-6}$ i przechodzących przez początek układu. Od punktu



Rys. 14.

$d = 20$ do punktu $d = 40$ stosunek η ma stałą wartość 10^{-6}, możemy więc krzywą w tym przedziale określić jako krzywą, złożoną z dwóch prostych, nachylonych do osi d pod kątem arc. tg. $\pm 10^{-6}$. Proste te przechodzą jedna powyżej, druga poniżej początku układu o wartość $b = 65.10^{-6} - 40$ tg. arc. tg. $10^{-6} = 25.10^{-6}$.

Dla punktu $d = 50$ odchylenie stosunku η od stałej wartości $1{,}6.10^{-6}$, jest tak małe, że nie będziemy brać tego pod uwagę.

Ogółem więc równanie tolerancji „AA" składać się będzie z równań trzech par symetrycznych prostych, z których każde jest ważne w swoim przedziale:

$$T = \pm 2.2.10^{-6}\, d_{(0,20)} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (AA_1)$$

$$T = \pm 10^{-6}\, d_{(20,40)} \pm 25.10^{-6} \quad . \; . \; . \quad (AA_2)$$

$$T = \pm 1{,}6.10^{-6}\, d_{(40,500)} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (AA_3)$$

Tabela tolerancji „AA" podaje wartości zaokrąglone do 5.10^{-6}. Błąd zaokrąglenia ΔT może zatem dochodzić do 5.10^{-6} przy każdej podanej tolerancji. Zatem:

$$\Delta T_2 = \Delta T_1 = 5.10^{-6} \quad \text{z tego:} \quad \Delta T_2 + \Delta T_1 = 10^{-5}$$

$$\text{a więc} \quad \Delta \eta = \left| \frac{1}{d_2 - d_1} \right| . (\Delta T_2 + \Delta T_1) = 10^{-5} . \frac{1}{d_2 - d_1}$$

Jeżeli $d_2 - d_1 = 10$, to $\Delta \eta = 10^{-6}$. Uwzględniając, że błąd jest proporcjonalny do różnicy $(d_2 - d_1)$ w odwrotnym stosunku, widzimy, że odchylenia stosunku η od średniej wartości $1{,}6.10^{-6}$, z wyjątkiem punktu $d = 20$, nigdzie poza tem nie przekraczają granicy błędów, które mogą wyniknąć z możliwych zaokrągleń, jakie tkwią w tabeli AA.

Z tego wynika, że możemy przyjąć krzywą tolerancji „AA", jako prostą, określoną ogólnem równaniem:

$$T = \pm 1{,}6.10^{-6}\, d \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (AA)$$

Równanie to wystarcza dla podania ogólnej wytycznej tolerancji płytek Johansson'a kategorji AA. Chcąc przedstawić krzywą tolerancji, ściślej odpowiadającą tabeli tolerancji AA, podanej przez Johansson'a, musimy ją określić, jako krzywą, złożoną z trzech par symetrycznych prostych. Krzywą tę określą równania: (AA_1), (AA_2) i (AA_3).

G. *Równania tolerancji AA*

Równania (AA_1), (AA_2), (AA_3), oraz (AA) dadzą dość dokładnie po wyliczeniu tolerancję „AA" podaną przez Johansson'a. Opierając się na tych równaniach możemy obliczyć tolerancję T dla każdej długości d.

Tabela tolerancyj podanych i wyliczonych z równania *AA*.

d	± T pod.	± T wyl.	d	± T pod.	± T wyl.	d	± T pod.	± T wyl.
20	0.000045	0.000032	100	0.00016	0.00016	300	0.00048	0.00048
25	0.00005	0.00004	125	0.0002	0.0002	400	0.00064	0.00064
30	0.000055	0.000048	150	0.00024	0.00024	500	0.0008	0.0008
40	0.000065	0.000064	175	0,00028	0.00028			
50	0.00008	0.00008	200	0.00032	0.00032			
75	0.00012	0.00012	250	0.0004	0.0004			

Od punktu $d = 30$ tolerancje podane prawie zupełnie odpowiadają tolerancjom wyliczonym. Do punktu $d = 30$ odchylenia dochodzą do 10^{-5}

Te odchylenia są dość duże, lecz ze względu na niewielki przedział, mogą być pominięte, zwłaszcza jeżeli chodzi o ogólniejsze rozważania. Gdy zależy nam specjalnie na małych długościach płytek, to musimy zwrócić się do równań (AA_1), (AA_2), (AA_3), według których możemy wyliczyć tolerancje.

Tabela tolerancyj podanych i wyliczonych z równań (AA_1), (AA_2) i (AA_3).

d	± T pod.	± T wyl.	d	± T pod.	± T wyl.	d	± T pod.	± T pod.
20	0.000045	0.000044	100	0.00016	0.00016	300	0.00048	0.00048
25	0.00005	0.00005	125	0.0002	0.0002	400	0.00064	0.00064
30	0.000055	0 000055	150	0.00024	0.00024	500	0.0008	0.0008
40	0.000065	0.000064	175	0.00028	0.00028			
50	0.00008	0.00008	200	0.00032	0.00032			
75	0.00012	0.00012	250	0.0004	0.0004			

Tabela ta daje zupełną zgodność pomiędzy tolerancjami podanemi i wyliczonemi z równań.

Ogólne uwagi punktu 1 *C* należy odnieść i do tego punktu.

Krzywą tolerancji narysowano na rysynku 14, nie zaznaczając prostokątów tolerancyj.

6. Porównanie tolerancyj płytek Johansson'a A i AA.

A. *Równania ogólne tolerancyj A i AA.*

$$T = \pm 3.10^{-6}\,\mathrm{d} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (A)$$

$$T = \pm 1{,}6.10^{-6}\,\mathrm{d} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (AA)$$

Zbadajmy wzajemny stosunek tych równań.

B. *Wzajemny stosunek równań tolerancyj A i AA.*

Równanie tolerancji *A*, można wyprowadzić z równania tolerancji *AA*, przez wprowadzenie dodatkowego spółczynnika 1,875, a mianowicie:

$$T = \pm 3.10^{-6}\,\mathrm{d} = \pm 1{,}875.1{,}6.10^{-6}\,\mathrm{d}.$$

Z tego widzimy, że tolerancja *AA* jest 1,875 razy mniejsza od tolerancji *A*. Możemy powiedzieć, że tolerancja *AA* jest około dwa razy mniejsza niż tolerancja *A*. Wzajemną zależność tych tolerancyj ujmie następująca formuła:

$$A = 1{,}875.\ AA.$$

W równaniu tem oznaczyliśmy przez *A* i *AA* tolerancje dwóch kategoryj płytek dla tej samej długości *d*.

ROZDZIAŁ II.

Ogólna teorja tolerancyj płytek Johansson'a.

Opierając się na szczegółowych rozważaniach, które przeprowadziliśmy powyżej, możemy zbudować cały system tolerancyj płytek Johansson'a. Oznaczmy przez *d* długość płytki, wyrażoną w miarach metrycznych. Wiemy ze wstępu, że płytka będzie ściśle odpowiadała swej nominalnej długości, jeżeli dokładność jej wykonania dojdzie do dziesięciomiljonowej części *d*. Tolerancję takiej płytki określi równanie:

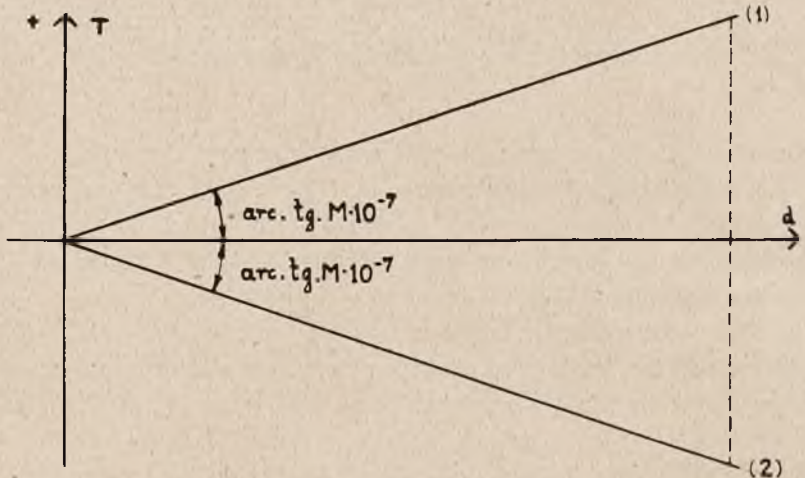
$$T = \pm 10^{-7}\,d \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1)$$

Tolerancja ta jest bardzo mała i w praktyce nigdy nie bywa osiągniętą; odpowiada ona płytkom idealnym. Płytki, z jakiemi mamy do czynienia przy pomiarach, mają tolerancje znacznie szersze. Od tolerancyj tych płytek zależy stopień ich zbliżenia do płytek idealnych. Cały system tolerancyj płytek Johansson'a możemy wyprowadzić z równania (1), przez wprowadzenie do tego równania pewnego spółczynnika *M*. Ponieważ tolerancje płytek Johansson'a są znacznie szersze od tolerancji płytek idealnych, więc spółczynnik $M > 1$.

Oto ogólne równanie systemu tolerancyj płytek Johansson'a:

$$T = \pm M . 10^{-7} d \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (2)$$

Wyrażenie $M.10^{-7}$ nazywamy spółczynnikiem tolerancji danej kategorji płytek. Równanie (2) w wykresie da dwie proste, przechodzące przez początek układu, symetryczne względem osi d i nachylone do niej pod kątem arc. tg. $\pm M.10^{-7}$ (rys. 15).



Rys. 15.

Oznaczmy przez δ rzeczywistą długość płytki w temperaturze 20^0 C. Niech nominalna wartość tej płytki wynosi d. Różnica:

$$\Delta = (d - \delta)$$

Musi być spełniony warunek: $\Delta \leqslant T = M . 10^{-7} d,$ czyli

$$- M . 10^{-7} d \leqslant d - \delta \leqslant + M . 10^{-7} d \quad . \; . \; . \; . \quad (3)$$

Z tego wynika, że liczba $\pm \Delta$ musi znajdować się w granicy pola, zawartego między prostemi: $T = + M.10^{-7}$ d...(I), $T = - M.10^{-7}$ d...(II).

Równanie (2) przewiduje tolerancję T, która zmienia się w sposób ciągły ze zmianą d. W ten sposób dla każdej długości płytki otrzymamy inną tolerancję. Trzymanie się ścisłe równania (2) przy wyrobie płytek jest zbyt uciążliwe, dlatego też Johansson, opierając się tylko na równaniu (2), które służy jako wytyczna ogólna, daje stałe tolerancje dla pewnych przedziałów długości płytek. Osiąga to w ten sposób, że całą skalę długości płytek dzieli na kolejne przedziały:

$$(d_0, d_1), (d_1, d_2) \ldots (d_k, d_{k+1}) \ldots$$

Dla każdego z przedziałów zostaje ustalona odpowiednio stała liczba:

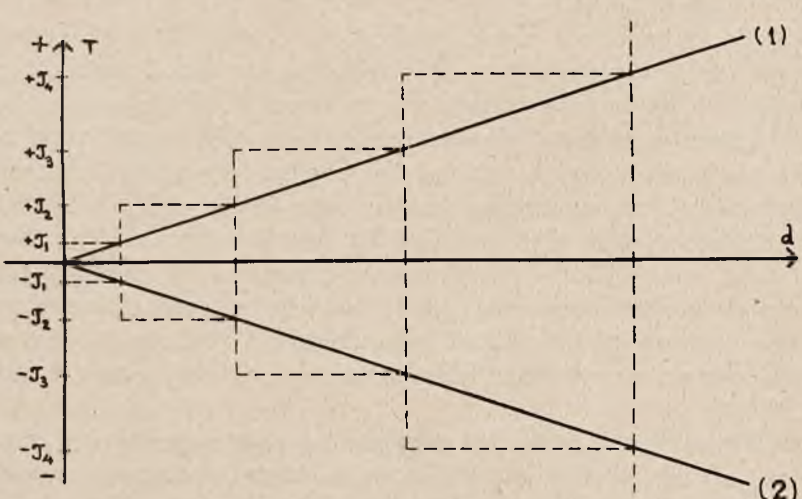
$$T_1, \; T_2 \; ... \; T_{k+1} \; ...$$

Liczby te zależą od kategorji płytek i są określone, jak następuje:

Rozważmy tolerancję wybranego dowolnie przedziału długości płytek $(d_k, \; d_{k+1})$, którą oznaczamy przez T_{k+1}. Liczba T_{k+1} jest określona jak poniżej:

$$T_{k+1} = \pm M . 10^{-7} \, d_{k+1} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (4)$$

Tolerancja danego przedziału jest więc określona według równania (2) dla maksymalnej wartości danego przedziału. Jeżeli chodzi o całą skalę długości płytek, to tolerancja będzie się zmieniała wzdłuż osi d nie w sposób ciągły, lecz skokami. Pole tolerancji przedstawi się, jako zbiór prostokątów, ustawionych obok siebie na osi d. Naprzykład pole tolerancji przedziału (d_k, d_{k+1}) będzie wyznaczone dwoma prostokątami o bokach: jeden $d_{k+1} - d_k$, T_{k+1}; drugi $d_{k+1} - d_k$, $-T_{k+1}$. Prostokąty te będą symetrycznie ułożone względem osi d. Wykres tych prostokątów podaje rysunek 16. Prawe bok prostokątów wyznaczają proste równania (2).
względem osi d. Wykres tych prostokątów podaje rysunek 16. Prawe boki prostokątów wyznaczają proste równania (2).



Rys. 16.

Niech płytka o nominalnej długości d należy do przedziału $(d_k, \; d_{k+1})$ Musi zatem być spełniony warunek:

$$d_k \leqslant d \leqslant d_{k+1} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (5)$$

Tolerancję płytki T_{k+1} określi równanie (4). Musi być zatem spełniony warunek drugi:

$$\Delta \leqslant M.\,10^{-7}\,d_{k+1}\,,\quad \text{czyli}$$

$$-\;M.\,10^{-7}\,d_{k+1} \leqslant d - \delta \leqslant +M.\,10^{-7}\,d_{k+1} \quad \ldots (6)$$

Ponieważ $d \leqslant d_{k+1}$, zatem z równania (2) wynika, że:

$$T_d \leqslant T_{k+1}$$

Dzięki stałej tolerancji dla pewnych przedziałów długości płytek tolerancja płytki d jest szerszą lub co najwyżej równą tolerancji, jaką podaje równanie (2) dla tej płytki. Układ tolerancyj, stałych dla każdego przedziału długości płytek i wzrastających skokami ze wzrostem d, jest wprowadzony jedynie dla ułatwienia przy produkcji płytek.

W teoretycznych rozważaniach możemy przyjąć, że tolerancje płytek Johansson'a zmieniają się w sposób ciągły ze zmianą d, jak tego wymaga równanie (2).

Tolerancje płytek Johansson'a wykazują jeszcze jedno odstępstwo od równania (2). Mianowicie płytki o małej długości posiadają tolerancje nieco szersze od tych, jakie podaje równanie (2), przyczem różnica tych tolerancyj nie jest zbyt wielka i żadnego teoretycznego znaczenia nie posiada.

Płytki Johansson'a dzięki doskonałemu wykonaniu powierzchni można wzajemnie składać przez dotarcie i w ten sposób tworzyć cały stos płytek o żądanym wymiarze nominalnym. Płytki dają się składać bardzo łatwo, wystarczy tylko przesunąć jedną płytkę po drugiej przy lekkim przycisku. Powierzchnie płytek powinny być delikatnie zwilżone tłuszczem. Przyleganie jest bardzo silne i grubość błonki tłuszczu, która istnieje między płytkami, jest bardzo mała. Pérard (p. „Revue d'Optique", maj, 1922) usiłował zmierzyć grubość tej błonki, lecz nie doszedł do żadnych wyników, gdyż do tej pory niema dostatecznych środków, aby grubość tę można było zmierzyć; jest ona bardzo mała i z pewnością nie przekracza kilku mimikronów [1]) bez względu na rodzaj tłuszczu.

Zastanówmy się teraz, jaka będzie tolerancja dowolnie dobranego stosu płytek Johansson'a. Załóżmy, że został dobrany stos płytek, których długości wynoszą odpowiednio: d_1, d_2...... dn. Każda z tych płytek posiada tolerancję według równania (2), odpowiednio równą:

---

[1]) mimikron = 0,001 μ

T_1, T_2..... T_n. Jeżeli pominiemy niewielką grubość błonek tłuszczu między powierzchniami płytek, to możemy powiedzieć, że długość stosu wyniesie:

$$D = d_1 + d_2 + \ldots \; d_n .$$

Absolutna wartość tolerancji stosu równa się:

$$|T| = |T_1| + |T_2| + \ldots \; |T_n| .$$

Zamiast liczb T_1, $T_2 \ldots T_n$ podstawmy odpowiednie im wartości z równania (2). Wtedy:

$$|T| = M . 10^{-7} d_1 + M . 10^{-7} d_2 + \ldots . M . 10^{-7} d_n =$$
$$= M . 10^{-7} (d_1 + d_2 + \ldots . d_n) . = M . 10^{-7} D,$$

czyli
$$T = \pm M . 10^{-7} D . \quad . \quad . \quad (7).$$

Z tego wynika, że tolerancja stosu płytek, jest również określona równaniem (2) i zależy jedynie od całkowitej długości stosu. Dobór płytek i ich ilość nie wpływa wcale na tolerancję. Stos płytek będzie miał taką samą tolerancję, jakąby miała płytka danej kategorji o nominalnej długości, równej nominalnej długości stosu. Wniosek ten jest zgodny z tem, co mówią o tolerancji płytek katalogi Johansson'a. Jest to możliwe tylko dlatego, że tolerancje płytek Johansson'a wzrastają według prostej wraz ze wzrostem długości d.

Równanie (2) jest równaniem całego systemu tolerancyj płytek Johansson'a.

Spółczynnik tolerancji $M.10^{-7}$ tego równania zależy od kategorji płytek; jest on coraz mniejszy w miarę wzrastania stopnia dokładności płytek. Dla płytek idealnych $M = 1$, dla płytek Johansson'a $M > 1$ i składa się z dwóch składników:

$M = k\alpha + 25n$ . . . (8), gdzie α jest składnikiem stałym dla danego systemu, n jest liczbą całkowitą, naturalną. Dla systemu Johansson'a $\alpha = 30$, czyli $M = 30k + 25n$.

Johansson wyrabia trzy kategorje płytek pomiarowych A, B i C oraz jedną wzorcową kategorję AA. Spółczynnik k wskazuje na to, czy płytki należą do kategorji wzorcowej AA, czy do jednej z kategoryj pomiarowych.

Dla trzech kategoryj pomiarowych $k = 1$. Równanie systemu tolerancyj płytek pomiarowych przyjmie postać:

$$T = \pm (\alpha + 25\,n) . 10^{-7} d \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

Kategorja płytek zależy od n. Gdy $n = 0$ — mamy tolerancję kategorji A, gdy $n = 1$ — kategorji B, gdy $n = 2$ — kategorji C.

Te trzy kategorje płytek są przeznaczone do bezpośrednich pomiarów mniej lub więcej precyzyjnych. Płytki kategorji *AA* są przeznaczone jedynie jako wzorce do sprawdzania płytek lub przyrządów pomiarowych, względnie do ścisłych pomiarów laboratoryjnych. Dokładność ich wykonania jest prawie dwa razy większa niż dokładność wykonania płytek kategorji *A*.

Tolerancje płytek *AA* są wyprowadzone z tolerancji płytek *A*, dlatego w równaniu tolerancji tych płytek $n = 0$.

Równanie to ma postać:

$$T = \pm k . \alpha 10^{-7} d \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (10), \text{ gdzie}$$

$$k = 0{,}53 \ldots, \quad \text{czyli prawie } k = 0{,}5$$

Opierając się na tych rozważaniach możemy napisać ogólne równanie całego systemu tolerancyj Johansson'a w postaci:

$$T = \pm (k \alpha + 25 n) . 10^{-7} \; \mathrm{d} \; . \; . \; . \; (11)$$

Z równania tego otrzymamy równanie każdej kategorji tolerancji płytek przez podstawienie odpowiednich wartości liczbowych na miejsce symboli *k*, α oraz *n*. Prawdopodobnie Johansson nie wyrabia płytek odrazu przeznaczonych dla danej kategorji. Płytki wyrabiane są masowo i dopiero zostają rozsortowane według wyników pomiarów długości tych płytek i jakości powierzchni. Płytki są mierzone metodą interferencji fal świetlnych, zbliżoną do metody pomiarów Michelson'a. Trzeba zaznaczyć, że wnioski z podanego przez nas systemu tolerancyj pokrywają się z danemi katalogów Johansson'a. Nie możemy jednak twierdzić, że Johansson według podanego przez nas systemu układał swe tolerancje. Omawiany powyżej system może być tylko wyprowadzony z układu tolerancyj płytek Johansson'a.

Załącznik do artykułu ppłk. Vorbrodta p. t. „Badanie działania odłamkowego (rozpryskowego) granatów".

Nr.	Kal. D. mm	Rodzaj pocisku	Ciężar poc,		Ciężar ład. krusz.		$K = d_a \| d_i$	Ilość odłamków Σ ; α = 50								Średni ciężar odłamka g w gr.								Energja mech. ład. krusz. w mt.	Odpowiedni pocisk niem. artylerji
								Gatunki stali								Gatunki stali									
			c	G kg.	% G	gr.		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
1	75	Gran. panc.	15	6,33	2,5	158	2,62	84	53	103	74	90	165			73,5	116,5	60	83,5	68,5	37,4			55	
2	75	Gran. stal.	15	6,33	10	633	1,59		334	650	470	568*					17,0	8,7	12,1	10,0				221	arm. 75 mm gór. gran, wz. 18; arm. 77 mm poc. C wz. 16.
3	75	„ „	15	5,06	12	608	1,49		362	705	508	615					12,3	6,3	8,8	7,2				212	
4	75	Gran. lany	15	6,33	7,5	475	1,79						666*								8,8			166	arm. L/32 gran. stal. wz. 15.
5	75	„ „	12	5,06	7	355	1,81						490								9,6			124	
6	75	Gran. stal. lekki	9	3,8	10	380	1,53		215	420	302	365					15,9	8,1	11,3	9,4				133	
7	105	Gran. panc.	15	17,4	2,5	435	2,62	165	104	203	146	177*	325			103	163	83	116	96	52			152	10 cm wz 06.
8	105	Gran. minowy	12	13,9	15	2090	1,40		1020	1995	1430	1735*					11,6	5,9	8,3	6,8				731	Hb. pol. gran, długi
9	105	Gran. stal.	15	17.4	10	1740	1,59		657	1280	923*	1115					23,8	12,2	17,0	14,0				609	10 cm. wz. 15
10	105	„ „	12	13,9	12	1670	1.49		709	1383	995*	1204					17,3	8,8	12,3	10,1				585	10 cm. hb.
11	105	Gran, lany	15	17,4	7,5	1305	1,79						1307*								12,3			457	hb. 10 cm. wz. 15—wz. 14.
12	150	Gran. minowy	12	40,5	15	608	1,4		2080	4060	2920*	3530					16,5	8,5	11,8	9,7				2130	15 cm. gran. wz. 12
13	150	Gran. stal.	15	50,6	13	506	1,59		1335	2600*	1875	2270					34	17,5	24,3	20,0				1770	Hb. 15 cm. gran. wz. 16
14	150	„ „	12	40,5	12	486	1,49		1445	2820	2030*	2460					24,7	11,6	17,5	14,5				1700	15 cm. gran wz, 12
15	150	Gran. lany	15	50,6	7,5	380	1,79						2680*								17,5			1330	Hb. 15 cm. gran. wz. 18
16	150	„ „	12	40,5	7	284	1,81						1960*								19,2			995	15 cm. gran. wz. 14
17	150	Gran. stal. lekki	9	30,4	10	304	1,53		860	1680	1205*	1460					31,8	16,3	22,7	18,1				1060	15 cm. gran. wz. 17
18	210	Gran. stal.	12	111	12	13320	1,49		2825	5520*	3970	4800					34,6	17,7	24,6	20,4				4660	21 cm. gran. wz. 17
19	300	Gran. stal.	12	324	12	38850	1,49			11270*								25,3						13600	Gran. długi beta
20	420	Gran. stal.	12	890	12	106900	1,49		11300*								62,3							37400	Gran. długi gamma
21	75	Bomba miotacza	11	4,64	13	600	1,45								393*								10,3	210	Bomba lekka
22	75	„ „	11	4,64	26	1200	1,23							1150	1310							3,0	2,6	420	
23	170	Bomba miotacza	11	54	26	14000	1,23								6760*								5,9	4900	Bomba średnia
24	250	Bomba miotacza	6,4	100	45	45000	1,1							26800*								2,05		15750	Bomba ciężka

Gatunki stali:

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
k_z =	110	100	80	80	70	40	60	60
ε =	10	15	8	10	8	5	15	12
σ =	70	60	50	45	38	25	33	30

I i II—stal niklowa; III i V — stal prasowana do granatów; VI — stal lana; VII, VIII — stal prasowana do bomb.

Załącznik do artykułu ppłk. Vorbrodta p. t. „Badanie działania odłamkowego (rozpryskowego) granatów".

№	Kal.	Rodzaj pocisku	Ciężar pocisku		Ciężar ład. krusz.		Ilość odłamków										
							k_2	< 5 gr. w kg.	5 — 10 gr.		> 10 gr.		pył				
			c	G kg	% G	gr. trotyl.			ilość	cięż.	ilość	cięż.	w kg	% G	Σ ponad 5 g	Σ ponad 0,5 g	G
1	75	Gran. z żeliw. stalist.	14	5,92	7,5	440	20,1	3,980	128	0,90	30	0,385	0,317	3,6	158	—	8,1
2	75	„ „ „	14,5	6,12	7,1	437	27,6	2,485	175	1.08	64	0,783	1.332	21,6	239	—	7,8
3	75	„ „ „	14	5,92	6,9	410	15,5	2.500	184	1,07	20	0,340	1,605	23,2	204	—	6,4
4	105	Gran. stalowy	12	14	17	2,425	—	1,375	155	1,135	207	6,680	2,60	18	362	1140	21,6
5	155	Gran. z żeliw. stalist.	11	41,4	11	4,700	20,0	7,150	593	4,24	700	15,015	10,295	24,8	1293	—	14,1
6	81	Bomba z żel. stal. Stokesa	6	3,22	20	650	22,0	1,747	43	0,228	9	0,533	0,53	2,06	52	9081	14,7
7	75	Gran. moździ. J. D.	8	3,300	30	1000 melinit	—	2.137	54	0,449	66	1,231	0,28	1,23	120	1536	14,0

Praktycznie sprawa ta nie jest jeszcze należycie zbadana, należałoby dla danego kalibru i rodzaju pocisku określić doświadczalnie przynajmniej wpływ materjału wybuchowego, tworzywa skorupy, konstrukcji skorupy, rodzaju detonatora.